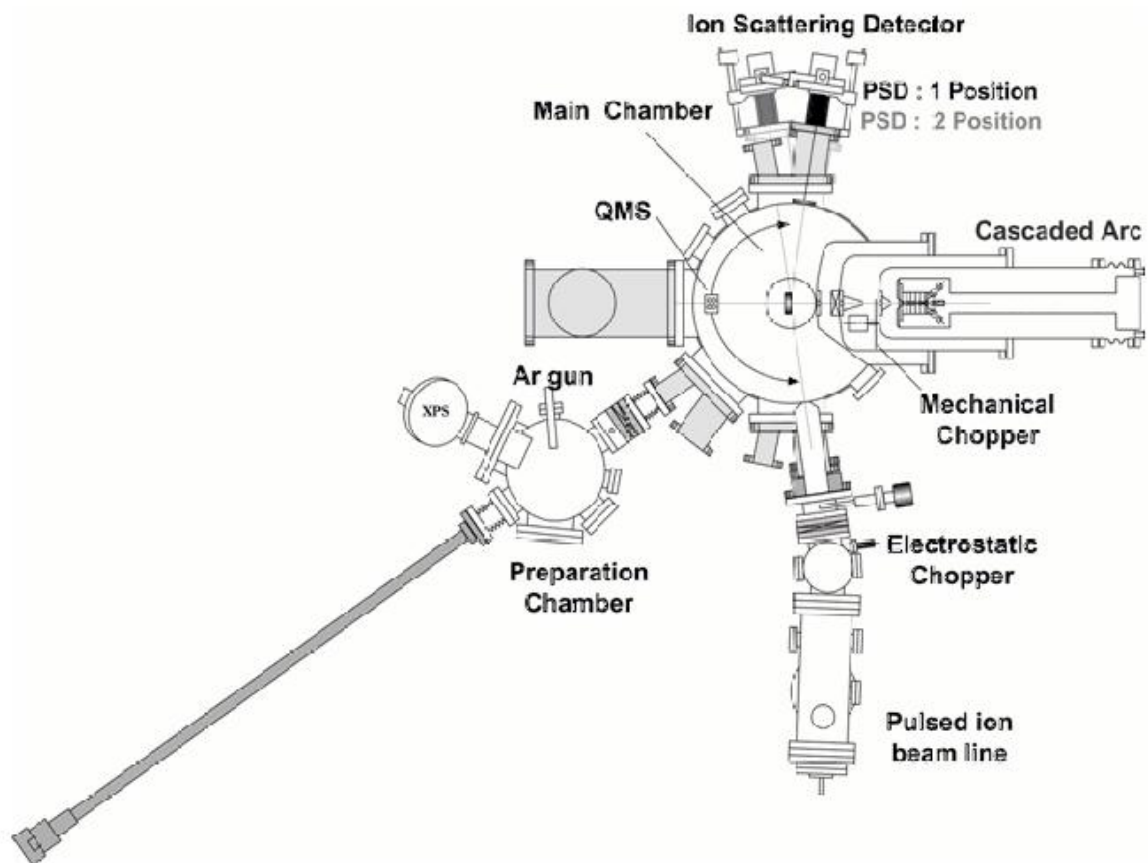


MECHANICAL SELECTOR OF AN ELECTRON BEAM

AFSTUDEERSCHRIJF

FOM-INSTITUUT VOOR PLASMAFYSICA RIJNHUIZEN
NIEUWEGEIN



Student	Floris van Oort
Studentnummer	1547346
Opleiding	Integrated Product Development
Afstudeerbegeleiders	M.P.A van Asselen (FOM-Instituut) Dr. R.M.J. Sillen (Hogeschool Utrecht) R. Müller (Hogeschool Utrecht)
Datum	10 januari 2012

Colofon

Titel: Mechanical selector of an electron beam

Cursuscode: TTTT-AFST-11

Auteur: Floris van Oort
florisvoort@hotmail.com
Studentnummer: 1547346

Opdrachtgever: FOM-Instituut voor plasma fysica Rijnhuizen
Edisonbaan 14
3439 MN Nieuwegein
Telefoon: 030 - 6096999
Fax: 030 - 6031204

Hogeschool Utrecht
Faculteit Natuur & Techniek
Integrated Product Development
Oudenoord 700
3513 EX Utrecht
Telefoon: 088 - 4818283
Fax: 088 - 4819270

Afstudeerbegeleiders: M.P.A van Asselen (FOM-Instituut)
Dr. R.M.J. Sillen (Hogeschool Utrecht)
R. Müller (Hogeschool Utrecht)

Plaats: Nieuwegein

Datum: 10 januari 2012



Samenvatting

Gas-opervlakte interacties staan centraal in talrijke natuurlijke en industriële processen. Het begrijpen van deze interacties is belangrijk voor de ontwikkeling van diverse toepassingen. Dit interactieproces wordt sterk beïnvloed door de energie van de atomen / moleculen in het gas.

Bij het instituut voor Fundamenteel Onderzoek der Materie (FOM) Rijnhuizen wordt onderzoek gedaan naar de invloed van deze energie ten aanzien van het interactieproces (verstrooiing, kleven en reactie) met een oppervlak. Hierbij wordt op wetenschappelijk niveau onderzoek gedaan naar gas-opervlakte interacties op atomaire / moleculaire niveau. Dit gebeurt onder andere in een opstelling genaamd de 'Surface-PSI'.

Op deze opstelling kan onderzoek gedaan worden naar het interactieproces van gasdeeltjes met een energie van 1-10 elektronvolt (eV). De energie van de gasdeeltjes wordt gecreëerd door een bron, de cascaded arc plasma source. Deze cascaded arc produceert een plasmabundel van gasdeeltjes met de energie van 1-10 eV. Het interactieproces gebeurt hierbij met een gepulste bundel met een frequentie van 400 Hz.

Uitgevoerde onderzoeken op de Surface-PSI geven al waardevolle meetwaarden over gas-opervlakte interactieprocessen in dit gebied. Echter de brede energiegebied van 1-10 eV beperken de bruikbaarheid van de verkregen meetwaarden. Verwacht wordt dat in dit energiegebied het interactieproces sterk beïnvloed wordt door de energie van de deeltjes. Het gebied is interessant omdat (1) in dit gebied een overgang is te zien tussen het wel en niet kunnen onderscheiden van atomen in het atoomrooster van het proefstukoppervlak en (2) het energiegebied representatief is voor de absorptie hechtsterkte van moleculaire bindingen.

Om een beter inzicht te krijgen in het karakteriseren van het interactieproces in dit gebied is een smallere energiegebied wenselijk. De opdracht hierbij is om een constructie te ontwerpen die dit mogelijk maakt. Hierbij dient de frequentie te worden verhoogd naar 1000 Hz. Daarnaast dient het gebruik van reactieve moleculaire bundelgassen tot de mogelijkheden te behoren. Echter zonder dat deze gassen de prestaties van de cascaded arc nadelig beïnvloeden. Verder dient de positie van de cascaded arc instelbaar te zijn om de eigenschappen van het plasma te kunnen beïnvloeden.

Onderzocht is hoe de smallere energiegebied kan plaatsvinden tegelijk met de verhoogde frequentie. Welke parameters er belangrijk zijn en hoe dit vertaald kan worden naar technische ontwerpspecificaties. Vanuit deze specificaties zijn er concepten ontwikkeld, van waaruit een concept is uitgewerkt tot een ontwerp.

De brede energiegebied van 1-10 eV is in het nieuwe ontwerp verkleind tot een energieverspreiding van 1 eV in het gebied van 1-7 eV. De selectie is hierbij gebaseerd op de onderlinge verschillen van de deeltjes in het gas. Deze selectie is tijdens gebruik in- en verstelbaar. Daarnaast is er een ontwerp gemaakt voor de toevoer van reactieve

moleculaire bundelgassen. Dit is gedaan door het later toevoegen van deze gassen in de bundellijn, zodat deze gassen de cascaded arc niet nadelig kunnen beïnvloeden.

De verstelling van de positie van de cascaded arc plasma source is met een translatiebeweging instelbaar. Het ontwerp voldoet hierbij aan de eisen en wensen van de opdrachtgever.

Inhoudsopgave

SAMENVATTING	2
INHOUDSOPGAVE	4
VOORWOORD	6
INLEIDING	7
1 BEDRIJF	8
2 ORGANISATIE EN WERKWIJZE	9
2.1 Organisatie	9
2.2 Werkwijze	10
3 OPDRACHT	11
3.1 Achtergrondinformatie gas-oppervlakte interacties	11
3.2 Probleemstelling	12
3.3 Doelstellingen	13
3.4 Opdracht	13
3.5 Productbeschrijving	14
3.6 Eisen en randvoorwaarden	14
3.7 Eindproducten	15
4 ANALYSE	16
4.1 Overview	16
4.2 Analyse	16
4.2.1 Surface-PSI	16
4.2.2 Functieblokschema	21
4.2.3 Brongassen	22
4.2.4 Technische ontwerpspecificatie	23
4.2.5 Randvoorwaarden	28
4.3 Methodiek	28
5 OMGEVINGSCONDITIE	29
5.1 Componentniveau	29
5.2 Systeemniveau	30
6 ONTWERP	32
6.1 Meetfrequentie	32
6.2 Selector	33
6.3 Instelbare afstand tussen cascaded arc en skimmer I	37
6.4 Skimmer I	38
7 REALISATIE	40
7.1 Globale fasering	40
7.2 Realisatie per fase	40

7.2.1	Modificatie vacuümkamers	40
7.2.2	Aansturing pulsgenerator & selector	40
7.2.3	Koeling	41
7.2.4	Balanceren	42
7.2.5	Chopperdisks	44
7.2.6	Rotatie φ_z	45
7.2.7	Afstand instelbaar tussen cascaded arc en skimmer I	48
7.2.8	Skimmer I	49
7.2.9	Vacuümkamer I en bronbuis	51
8.1	Resultaat	54
8.2	Evaluatie	55
8.3	Conclusie	55
8.4	Aanbeveling	56
9	PROCES EN PLANNING	57
9.1	Projectaanpak	57
9.2	Strokenplanning	57
9.3	Calculatie uren en kosten	57
9.4	Projectevaluatie	58
10	REFLECTIE	59
10.1	Reflectie technische competenties	59
10.2	Reflectie professionele competenties	59
10.3	Profielschets	59
AFKORTINGEN	60	
BRONNEN	61	
BIJLAGE	62	
Bijlage 1:	Tijdcalculatie / openingsbreedte selector	62
Bijlage 2:	Berekeningen / FEM-analyse	63
Bijlage 3:	Materiaaldiagrammen	69
Bijlage 4:	Kooponderdelen	71
Bijlage 5:	Werktekening huidige skimmer	84
Bijlage 6:	Strokenplanning	85

Voorwoord

Voor u ligt de afstudeerscriptie van mijn opleiding werktuigbouwkunde, variant Integrated Product Development. Dit verslag is geschreven naar aanleiding van het afstudeertraject binnen de opleiding. Mijn afstudeerproject heb ik mogen doen bij het FOM-Instituut voor plasma fysica Rijnhuizen te Nieuwegein, periode september 2011 tot en met januari 2012. In deze periode heb ik een ontwerp gerealiseerd voor het selecteren van geïoniseerde deeltjes aan de hand van hun snelheid. Het ontwerp is een uitbreiding van één van de opstellingen binnen FOM-Rijnhuizen, de Surface-PSI. Hier worden onder andere experimenten uitgevoerd en studies gedaan naar gas-oppervlakte interactie. Deze scriptie geeft inzicht in het ontwerpproces en een onderbouwing hoe er tot een eindresultaat is gekomen.

Bij het algehele ontwerpproces en afstudeertraject wil ik graag mijn dank betuigen aan alle mensen die mij in de loop van de tijd gesteund hebben. Onder andere mijn bedrijfsbegeleider van het FOM-Instituut Rijnhuizen, Marcel van Asselen. Daarnaast alle collega's op de afdeling mechanical design voor alle adviezen met betrekking tot het ontwerpproces. De opdrachtgever Micheal Gleeson, onderzoeker binnen FOM-Rijnhuizen, voor het mogelijk maken van deze opdracht en de nodige wetenschappelijke informatie. Mijn twee stagebegeleiders van de Hogeschool Utrecht, Rob Sillen en Rob Müller voor hun steun en begeleiding binnen het afstudeertraject.

Ten slotte wil ik graag mijn familie bedanken voor de nodige steun.

Ik wens u veel leesplezier bij het lezen van dit verslag.

Floris van Oort
Nieuwegein, 10 januari 2012

Inleiding

Dit document is geschreven naar aanleiding van het afstudeertraject opleiding werktuigbouwkunde, Hogeschool Utrecht (HU). Deze scriptie geeft inzicht in het ontwerpproces en geeft onderbouwing hoe er tot een eindresultaat is gekomen. Het afstudeertraject is uitgevoerd op het FOM-Instituut voor plasma fysica Rijnhuizen.

Rijnhuizen is één van de drie onderzoeksinstituten van de Stichting voor Fundamenteel Onderzoek der Materie, de Nederlandse financieringsinstelling voor natuurkundig onderzoek.

Het onderzoek binnen Rijnhuizen vindt plaats verdeeld over vier wetenschappelijke afdelingen. Deze afdelingen bestaan ieder uit hun eigen groepen. Eén van deze afdelingen is Nanolayer Surface and Interface physics (nSI). Deze afdeling houdt zich bezig met onderzoek voor toepassingen in de plasmafysica, korte golflengte optica, dunne filmlagen en multilayers.

Een groep binnen nSi is de Surface Ion- & Photochemistry (SIPC). Hier wordt experimenteel oppervlakte onderzoek gedaan bij een opstelling genaamd Surface-PSI. De experimenten hierin vinden plaats in ultra hoog vacuüm (UHV). Deze opstelling maakt het mogelijk om oppervlakte studies te doen naar de interactie van geïoniseerd gas met materiaaloppervlak.

Bij één van de studies wordt onderzoek gedaan naar de interactie (verstrooiing, kleven en reactie) tussen atomen/moleculen met verschillende proefstukken van metaal (bijvoorbeeld Zilver (Ag) en Ruthenium (Ru)). Bij dit onderzoek wordt het proefstuk beschoten met een geïoniseerd gas. Dit geïoniseerd gas zal een interactie aangaan met het proefstukoppervlak. Tijdens deze interactie worden er metingen gedaan van dit interactieproces. Uit deze metingen kunnen de onderzoekers bepaalde conclusies trekken en dit weer gebruiken voor hun onderzoek.

Het probleem van de huidige configuratie is dat het moeilijk is een eenduidige aanwijzing te geven van de bemeeten data. Dit verhoogt de complexiteit van de analyse en het karakteriseren van het interactieproces.

Het project heeft als doelstelling een ontwerp te realiseren waarin de analyse van de gemeten data eenvoudiger wordt. Met als gevolg een betere interpretatie en een eenduidige toewijzing van de gemeten data. Het ontwerp dient op de huidige configuratie geïmplementeerd te worden.

1 Bedrijf

Het instituut FOM-Rijnhuizen is één van de drie onderzoeksinstituten van de Stichting voor Fundamenteel Onderzoek der Materie, de Nederlandse financieringsinstelling voor natuurkundig onderzoek. Deze stichting bevordert fundamenteel natuurkundig onderzoek in Nederland. Activiteiten van FOM komen het algemeen belang ten goede, in het bijzonder dat van het hoger onderwijs en het bedrijfsleven[1].

Circa 1030 mensen zijn in dienst van de werkgever FOM. Het personeelsbestand is opgebouwd uit bijna 90 vaste wetenschappelijke stafleden, 160 postdocs, 430 onderzoekers in opleiding (promovendi), 360 technici en overige personeelsleden. Het onderzoek vindt plaats in drie instituten en 182 universitaire werkgroepen, verspreid over elf Nederlandse universiteiten. De medewerkers produceren rond de 60 proefschriften en 1100 wetenschappelijke publicaties per jaar [1].

Op het FOM-Instituut voor plasmafysica Rijnhuizen worden diverse onderzoeken uitgevoerd, deze zijn verdeeld over vier afdelingen.

- Fusion physics
- Plasma surface interactions (PSI)
- Generation and Utilization of TeraHertz radiation (GUTHz)
- Nanolayer Surface and Interface physics (nSI)

Elke afdeling heeft hierbij zijn eigen werkgroepen waarin diverse onderzoeken plaatsvinden.

Tevens is er een overkoepelende vijfde afdeling, Support facilities. Deze groep zorgt voor alle ondersteuning binnen FOM-Rijnhuizen. Mechanische techniek is een groep binnen de afdeling Support facilities. Deze groep verzorgt het volledige proces van het ontwerpen, bouwen en de fabricage van mechanische componenten die nodig zijn voor de experimenten binnen FOM-Rijnhuizen.

Deze mechanische groep bestaat uit drie onderdelen, welke gezamenlijk zorgen voor het al gehele proces van ontwerpen, bouwen en fabriceren van mechanische componenten die nodig zijn voor experimenten. De afstudeeropdracht zal plaats vinden op de ontwerpafdeling van deze groep.

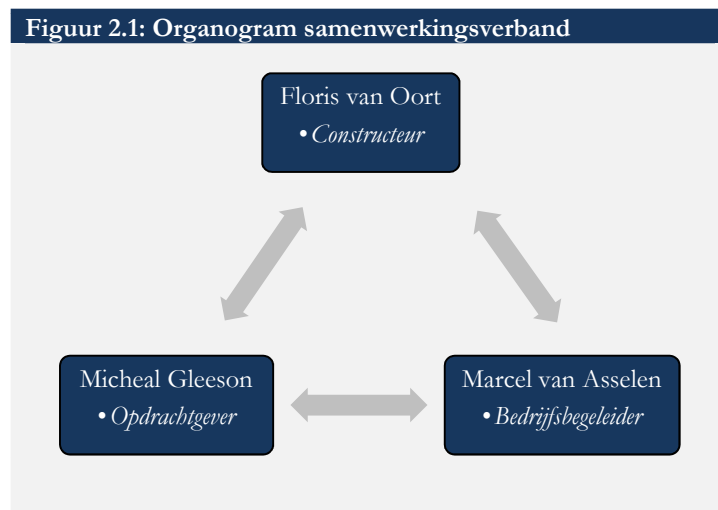
2 Organisatie en werkwijze

In dit hoofdstuk zal de werkwijze van het project worden toegelicht. Wie is de opdrachtgever? Welke rolverdeling is er binnen het project en de werkwijze en tijdsindeling van het afstudeertraject?

2.1 Organisatie

De opdrachtgever is onderzoeker de heer Micheal Gleeson. Onderzoeker aan het FOM-Instituut Rijnhuizen te Nieuwegein. Het project vindt plaats op de ontwerpafdeling. Op deze ontwerpafdeling werken vijf ontwerpers/constructeurs en er is plaats voor twee stagiairs. De heer M. van Asselen, constructeur, zal het afstudeerproject begeleiden vanuit het FOM-Instituut. Hierbij zal de heer M. van Asselen een coördinerende rol hebben en indien noodzakelijk bijsturen in het proces.

Mijn taak als afstudeerder is om de opdracht zelfstandig uit te voeren. In achtneming van de competenties van een HBO werktuigbouwkundige. Het project dient te worden afgesloten met een resultaat waarin de eisen en wensen van de opdrachtgever zijn geïmplementeerd. Figuur 2.1 geeft het organogram weer van het samenwerkingsverband tussen de verschillende partijen.



In het organogram is niet opgenomen, de communicatie en het overleg met andere afdelingen zoals de mechanische werkplaats en de afdeling elektrotechniek. Indien dit noodzakelijk is dient de constructeur hier zelf contact mee op te nemen. Dit geldt ook voor andere expertises die eventueel nodig zijn voor het ontwerp.

2.2 Werkwijze

De realisatie van de opdracht heeft plaatsgevonden op het FOM-Instituut Rijnhuizen te Nieuwegein. Hierbij is gedurende de afstudeerperiode 5 dagen per week aan de opdracht gewerkt.

Overleg met de bedrijfsbegeleider en opdrachtgever kon hierbij op maandag tot en met donderdag. Elke donderdag is de wekelijkse voortgang besproken met de opdrachtgever en bedrijfsbegeleider.

3 Opdracht

3.1 Achtergrondinformatie gas-opervlakte interacties

Zoals ik eerder aangaf heeft FOM-Rijnhuizen een aantal onderzoeksgroepen. Een van deze groepen is Nanolayer surface and Interface Physics (nSI). Deze groep houdt zich bezig met onderzoek naar toepassingen in de plasmafysica, korte golflengte optica, dunne film lagen en multilayers. Hierbij wordt er onder andere fundamenteel onderzoek gedaan op één van de opstellingen binnen FOM-Rijnhuizen, genaamd de Surface-PSI. Deze opstelling maakt het mogelijk om oppervlakte studies te doen naar de interactie (verstrooiing, kleven en reactie) tussen een geïoniseerd gas en een proefstuk. Meestal is dit een metaal, bijvoorbeeld Zilver of Ruthenium.

Gas-opervlakte interacties staan centraal in talrijke natuurlijke en industriële processen. Daarnaast spelen in de interacties de omzetting van energie en de milieuprocessen een belangrijke rol [2]. Voorbeelden van enkele processen:

- Opgroeien van dunne lagen door Chemical Vapour Deposition (CVD)
- Sputteren
- Etsen
- Corrosie

Het begrijpen van het dynamische gas-opervlakte interactie is belangrijk voor de ontwikkeling van diverse toepassingen maar ook van fundamenteel belang.

Het is niet eenvoudig om de materie op atomair niveau te begrijpen. Dit komt doordat er onder de toepassingsconditie (tegelijkertijd) diverse verschijnselen kunnen optreden. Door deze verschijnselen zijn, bij onderzoeken van gas-opervlakte interacties op atomair niveau, goed gedefinieerde condities een eerste vereiste.

De methodiek die gebruikt wordt in wetenschappelijk onderzoek ten behoeve van oppervlaktestudies, is het gebruiken van modelsystemen. Uit deze modellen probeert men af te leiden hoe ‘echte’ systemen werken. Als men op atomair/moleculair niveau naar gas-opervlakte interactie kijkt, kunnen er een aantal reacties plaatsvinden.

- Bij botsing van moleculen met een oppervlakte kunnen de moleculen aan het oppervlak blijven plakken. Mits het oppervlakte voldoende reactief is. Dit kan zowel atomair en/of moleculair.
- Bij botsing worden de moleculen gereflecteerd (scattered).

Elk van de twee hierboven genoemde interacties van gasdeeltjes met een oppervlak wordt sterk beïnvloed door de energie van het gasdeeltje. Afhankelijk van naar wat voor oppervlaktestudie er onderzoek gedaan wordt dient het gasdeeltje een bepaalde

hoeveelheid energie te bevatten. Deze gasdeeltjes verkrijgen hun energie door een bron. Energie wordt in de atoom- en kernfysica aangegeven in elektronvolt (eV). Er zijn twee type bronnen:

- Moleculaire bundelbron; oppervlaktestudies voor interactie van deeltjes met een energie van een paar elektronvolt. Studies, controleren en afwijken van translatie energie.
- Ionen bundelbron; oppervlaktestudies voor interactie van deeltjes met een energie van 50 eV tot in de mega elektronvolt (MeV).

Het gebied tussen deze twee bronnen is niet eenvoudig te bereiken. Dit komt doordat goed gefocusseerde ionenbundels in het lage energiegebied moeilijk te produceren zijn. Tevens is het moeilijk om een moleculaire bundel te verkrijgen van meer dan een paar eV. Binnen FOM-Rijnhuizen wordt onderzoek gedaan naar dit tussenliggende gebied, omdat dit gebied voor diverse uiteenlopende toepassingsgebieden van belang is. Hiervoor is een installatie aanwezig met een bron die de tussenliggende energiegebied bestrijkt. Deze bron maakt gebruik van de technieken van een moleculaire bundelbron maar kan gasdeeltjes produceren met een energiegebied van 1 tot 10 eV.

Het energiegebied met deeltjes van 1-10 eV is interessant omdat

- In dit gebied een overgang te zien is tussen het wel en niet kunnen onderscheiden van atomen in het atoomrooster in het proefstukoppervlak.
- Het energiegebied representatief is voor de absorptie hechtsterkte van moleculaire bindingen. De botsende deeltjes zijn hierdoor instaat een verplaatsing of dislocatie in het atoomrooster te veroorzaken.

3.2 Probleemstelling

Meetwaardes afkomstig uit experimenten uit de huidige cascaded arc bundellijn geven bij de gebruikte modellen al goede waardevolle resultaten over de gas-oppervlakte interactieprocessen. In deze modellen zijn betrouwbare metingen essentieel, onder andere voor validatie en een stimulans voor het verder ontwikkelen van de modellen. Echter de brede energiegebied van 1-10 eV beperkt de bruikbaarheid van de verkregen meetwaardes uit de experimenten. Verwacht wordt dat in het energiegebied van 1-10 eV het interactieproces van de deeltjes met het proefstukoppervlak sterk beïnvloed wordt door de energie van de deeltjes. Een voorbeeld hiervan is het gebruik van een rechtlijnige gepulste bundel, bestaande uit deeltjes met verschillende kinetische energie. De moleculen met een grotere kinetische energie hebben een grotere lineaire hoekafwijking t.o.v. deeltjes met minder kinetische energie. Hierdoor is de oriëntatie van de moleculen met meer kinetische energie anders dan deeltjes met minder kinetische energie.

Om dit moment zijn de meetwaardes een afspiegeling van het gemiddelde van alle aanwezige kinetische energiewaardes van alle deeltjes die botsen met het proefstukoppervlak. Door een botsing van deeltjes te krijgen met deeltjes die een smallere energiegebied hebben zal de interpretatie van de verkregen data verbeteren. Het begrijpen van het interactieproces van verschillende energieën zal hierbij verbeteren.

Wanneer dit eenmaal mogelijk is, kan er onafhankelijk per energie onderzocht worden welke invloed dit heeft op het interactieproces. Eventuele interactie drempelwaarden kunnen worden vastgesteld. Deze data zullen een stimulans moeten zijn voor lopende theoretische onderzoeken en een beter inzicht moeten geven in de basisprincipes van de meeste gas-oppervlakte interactie processen.

De belangrijkste reden voor het aanpassen van de cascaded arc bundellijn is om gebruikers een beter inzicht te geven in het karakteriseren van het interactieproces van de deeltjes met het proefstukoppervlak.

3.3 Doelstellingen

Het hoofddoel hierbij is om een puls te produceren die een beter gedefinieerde energiedistributie (smaller energiegebied) heeft. Dit moet een betere karakterisering mogelijk maken. Dit dient gedaan te worden door de huidige cascaded arc bundellijn te verbeteren. Een tweede doel is het uitbreiden van de toepasbare moleculaire bundelgassen in de bundellijn. Echter zonder dat deze moleculaire bundelgassen een negatieve invloed hebben op de prestaties van de opstelling.

3.4 Opdracht

De opdracht is een ontwerp te realiseren waarin in de bestaande opstelling de gemeten data beter geanalyseerd kunnen worden. De bron produceert een geïoniseerd gas met een energiegebied van 1-10 eV, afhankelijk van het gebruikte brongas. Van deze energiegebied dient er een selectie binnen de 1-7 eV gemaakt te worden met een spreiding van 1 eV.

In de ontwerpopdracht zullen de volgende aspecten aan bod komen:

- Het huidige ontwerp van de bundellijn is erg compact, daardoor is er weinig ruimte voor uitbreiding. Een deelopdracht zal zijn het ontwerpen van een tussenliggende vacuümkamer die aan de huidige configuratie gekoppeld kan worden.
- Selectie in elektronenvolts, kleinere range van energiespreiding (eV) van de bron. Er zal een ontwerp gerealiseerd moeten worden waarmee de energiespreiding van de bron verfijnd wordt. Deze selectie moet tijdens gebruik verstelbaar zijn.
- Aan de hand van een bepaald oplossingsprincipe zullen er diverse doorvoeren vanuit de vacuümkamer naar buiten (atmosferische druk) moeten plaatsvinden. Denk hierbij aan een mechanische doorvoer voor manipulatie, elektrische doorvoer voor het aansturen van elektrische componenten of het verkrijgen van data uit sensors. Onderdelen die aan warmte worden blootgesteld zullen gekoeld moeten worden, i.v.m. afwezigheid van convectie.
- De cascaded arc plasma source moet een horizontale translatie van 20 mm kunnen maken om instelling en verstelling mogelijk te maken. Het translatiemechanisme moet zo ontworpen worden dat de positie reproduceerbaar is.
- De demonteerbaarheid van de verschillende deelsystemen in de opstelling moet eenvoudig blijven.

- Het uitbreiden van het gebruik van (reactieve) moleculaire bundelgassen zonder dat deze de prestaties van de opstelling nadelig beïnvloeden.

Doordat het ontwerp op een bestaande opstelling geïmplementeerd gaat worden zal eerst de huidige configuratie worden geanalyseerd. Hierbij worden de functies en eigenschappen van de Surface-PSI opstelling in kaart gebracht.

3.5 Productbeschrijving

De opdrachtgever heeft vanuit zijn onderzoek een probleem. In dit geval is het verschil in elektronvolts van de deeltjes te groot. Hier moet een verfijning in plaatsvinden, zodat het verschil in elektronvolts kleiner wordt. Onderzocht gaat worden hoe deze selectie het beste kan plaatsvinden. Welke parameters zijn er belangrijk voor een selectie in de elektronenvolts, hoe kan dit gerealiseerd worden? Met behulp van de eisen en wensen van de opdrachtgever zullen ideeën worden besproken en uitgewerkt tot concept(en). Hierbij zal het beste idee/concept worden uitgewerkt tot een ontwerp. Dit ontwerp zal worden gevisualiseerd door middel van een CAD programma, Catia V5. Als eindproduct wordt een ontwerp verwacht, waarin het constructieve gedeelte is afgerond en gestart kan worden met het maken van werktekeningen.

3.6 Eisen en randvoorwaarden

Het nieuwe ontwerp zal aan bepaalde eisen moeten voldoen. De opdrachtgever heeft vanuit zijn onderzoek een bepaalde ontwerp vraag gesteld. Vanuit de achtergrond van de onderzoeker zullen de klantspecificaties worden omgezet in ontwerpspecificaties. Aan welke eisen moet het herontwerp voldoen? Dit zal worden beschreven in het programma van eisen, tabel 3.1. Dit programma wordt later in het ontwerpproces gebruikt bij het toetsen van diverse oplossingsconcepten voor de gevraagde eisen.

Tabel 3.1: Programma van eisen

Eis	Var. Eis	Wens	Omschrijving	Waarde
Prestatie				
x			Selectie in elektronenvolts	Nauwkeurigheid 1 eV in het segment 1-7 eV
x			Bediend kunnen worden door de onderzoeker	ja
		x	Viewports voor zicht	ja
x			Meetfrequentie	1000 [Hz]
		x	Selectie tijdens bedrijf	
x			Afstand instelbaar tussen de cascaded arc plasma source en skimmer I	Instelbereik 20 [mm] Nauwkeurigheid 0.5 [mm]
x			Brongassen	Argon en (moleculaire) stikstof
Omgeving				
x			Hoog vacuüm	$<10^{-5}$ Pa
x			Geïmplementeerd op de huidige configuratie	
Materiaalgebruik				
x			Toepasbaar in hoog vacuüm	
Onderhoud				
x			Geen smeermiddelen	
x			Geen onderhoud	
x			Uitval	ongewenst
Kosten				
	x		Kostprijs	$\pm$ € 20.000
Montage				
x			Eenvoudig (de)monteerbaar	

3.7 Eindproducten

Aan het eind van het project dient er een ontwerp gerealiseerd te zijn waarin de doelstellingen zoals beschreven in paragraaf 3.3 zijn behaald en de eisen zoals beschreven in paragraaf 3.4 zijn geïmplementeerd. Van het ontwerp zal een 3D model gemaakt worden in het CAD programma Catia V5.

Het eindproduct zal bestaan uit:

- 3D model van het ontwerp
 - Specificatie kooldelen / maaddelen
- Documentatie
 - Onderbouwing en beargumentatie van het ontwerp

4 Analyse

4.1 Overview

De gas-oppervlakte studies worden uitgevoerd op de Surface-PSI. Voor diverse gas-oppervlakte interacties wordt er gebruik gemaakt van een geïoniseerd gas. Dit geïoniseerde gas wordt in de Surface-PSI geproduceerd door een cascaded arc plasma source. De cascaded arc plasma source verzorgt hierbij een continue outputbundel van geïoniseerde deeltjes met een energiegebied van 1-10 eV. Deze deeltjes met een energie van 1-10 eV zullen een interactie aangaan met het proefstukoppervlak. Voor nieuwe studies is het wenselijk om een gedeelte van het energiegebied een interactie te laten aangaan met het proefstukoppervlak. Dit energiegebied dient uit de output van de cascaded arc plasma source geselecteerd te worden.

Een toevoeging hierop is dat de interacties plaatsvinden door middel van een gepulste bundel. Deze puls wordt gecreëerd door de continue outputbundel te ‘choppen’. Dit wordt gedaan door een ‘chopper’. Dit choppermechanisme is eventueel ook bruikbaar voor het selectieproces.

Deze gas-oppervlakte interacties worden uitgevoerd onder vacuüm. Deze omgevingsconditie is een belangrijke ontwerpfactor en mag niet onderschat worden. De selectie van energie dient instelbaar te zijn onder vacuüm.

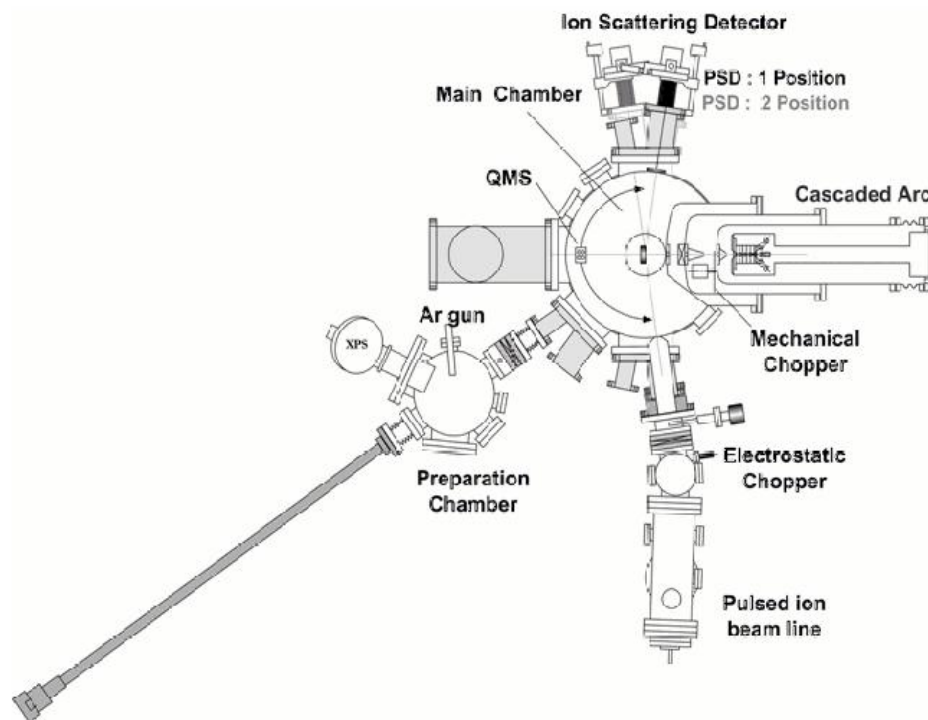
4.2 Analyse

De Surface-PSI opstelling bestaat uit verschillende deelsystemen. Elk deelsysteem heeft zijn eigen functie, waardoor het mogelijk is om diverse experimenten uit te voeren. In dit hoofdstuk zal een beschrijving worden gegeven van de verschillende deelsystemen in de opstelling. Vervolgens wordt er dieper ingegaan worden op het deelsysteem ‘differentieel gepompte bundellijn’. Dit is het deelsysteem waarin de energiselectie plaatsvindt.

4.2.1 Surface-PSI

Het systeem in zijn huidige configuratie is schematisch weergegeven in figuur 4.1. Het systeem bestaat uit verschillende deelsystemen[3]:

- Main chamber
- Preparation chamber
- Pulsed ion beam source
- Cascaded arc plasma source



Figuur 4.1. Huidige configuratie Surface-PSI [3]

In de opstelling bevinden de meeste componenten zich in één horizontaal vlak. In de main chamber is dit de Quadrupole mass spectrometer (QMS). Daarnaast zijn dit de twee bronnen, de Pulsed ion beam source en de Cascaded arc plasma source, Preparation chamber en sputtergun. De QMS kan gebruikt worden voor het direct karakteriseren van de plasma bron (soort en energie distributie) en het indirect karakteriseren van verstrooide (scattered) plasma deeltjes van het proefstukoppervlak.

Main chamber: in de grootste kamer bevinden zich een aantal componenten. Het proefstuk, een manipulator voor de manipulatie van het proefstuk en diverse meetapparatuur. De druk in deze kamer is rond de 10^{-9} mbar wanneer er geen plasmabundel gegenereerd wordt.

De manipulator heeft zes vrijheidsgraden, drie rotaties en drie translaties met de volgende specificaties:

- Rotatie
 1. 360° om de verticale as van de kamer
 2. Een rotatie van 360° loodrecht op het proefstukoppervlak. Dit is oppervlak waarop interactie plaatsvindt.
 3. Kan het proefstuk voor-en achterover gekanteld worden. Respectievelijk, 90 en 20 graden.
- Translatie
 4. In X- en Y-richting een translatie van ± 15 mm t.o.v. het middelpunt van de kamer. Nauwkeurigheid van 0.1 mm.
 5. In Z-richting (verticale as van de kamer) een translatieslag van 200 mm.

Preparation chamber: in de preparation chamber worden de proefstukken schoongemaakt door sputtering van ionen en/of door proefstukken te gloeien tot boven 1000 Kelvin. De kamer biedt ruimte voor meerdere proefstukken. Het verplaatsen van de proefstukken naar de main chamber gebeurt door een translatiemechanisme. Deze translatie vindt plaats onder vacuüm.

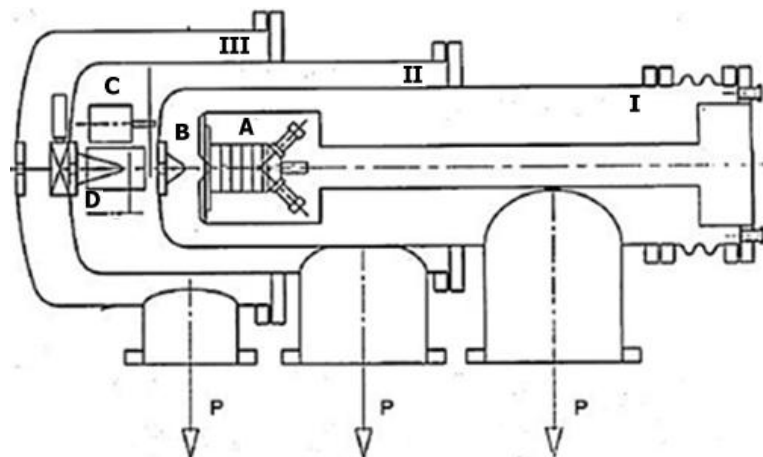
Pulsed Ion beam: de ion beam wordt gebruikt voor low energy ion scattering (LEIS) en Direct Recoil Spectroscopy (DRS) studies. De source kan ionen produceren met een energie tot 4 kilo elektronvolt (keV).

Cascaded arc plasma source: deze cascaded arc plasma source wordt gebruikt voor de gas-opervlakte interactie met gasdeeltjes met een energie van 1-10 eV.

Differentieel gepompte bundellijn

De opdracht zoals die eerder beschreven is in hoofdstuk 3, heeft te maken met de selectie van de door de cascaded arc plasma source geproduceerde geladen deeltjes. Deze cascaded arc plasma source bevindt zich in het deelsysteem wat ook wel differentieel gepompte bundellijn wordt genoemd. Hoe deze differentieel gepompte bundellijn is opgebouwd en welke functies de verschillende onderdelen vervullen zal hier nader worden toegelicht.

De huidige configuratie wordt schematisch afgebeeld in figuur 4.2. Het deelsysteem is opgebouwd uit verschillende kamers (I, II, III). Deze kamers beschikken elk over een eigen vacuümpomp. Dit wordt aangegeven door de letters P van pressure. Door deze constructie ontstaat er een differentieel gepompte bundellijn. Deze constructie zorgt ervoor dat de druk trapsgewijs teruggebracht wordt naar een druk van 10^{-9} mbar in de main chamber.



Figuur 4.2. Schematische weergave differentieel gepompte bundellijn, vooraanzicht. [3]

Verder is weergegeven:

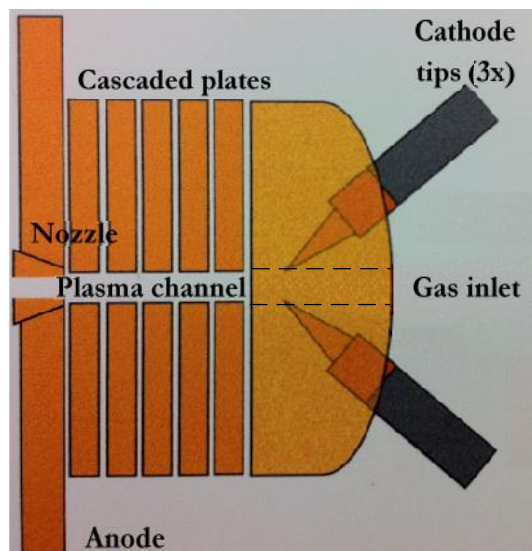
A. Cascaded arc plasma source

Deze bron genereert de plasmabundel. De cascaded arc zorgt ervoor dat het gas wordt geïoniseerd door een ontleding. Deze ontleding vindt plaats door een stroom die van drie

kathodes naar de anode stroomt (figuur 4.3). Door deze ontleding zijn de deeltjes in de bundel geladen.

De bron is opgebouwd uit de volgende componenten:

- Nozzle; hier stroomt het geïoniseerde gas de eerste vacuümkamer in.
- Gas inlet; via een leiding wordt het (moleculaire) gas aangevoerd.
- Drie kathode-tips; De tips monden uit in een kanaal waar het gas langs stroomt. Dit kanaal heeft een diameter van enkele millimeters en een lengte van een paar centimeter. De kathode-tips zijn gemaakt van wolfram.
- Koperplaten; het kanaal is opgebouwd uit een aantal geïsoleerde koperplaten.
- Afstandhouders; de afstandhouders zorgen voor de isolatie van de koperplaten, vervaardigd van PVC/boriumnitride.



Figuur 4.3. Schematische weergave cascaded arc plasma source

Het toegevoerde brongas staat onder hoge druk (4 bar) en stroomt langs de kathode-tips. Door het potentiaalverschil tussen de kathodes en de anodebasisplaat wordt het gas geïoniseerd en ontstaat er een plasmabundel. Wanneer het geïoniseerde gas door de kleine opening van de anode basisplaat stroomt naar de eerste vacuümkamer, treedt er een supersone expansie op.

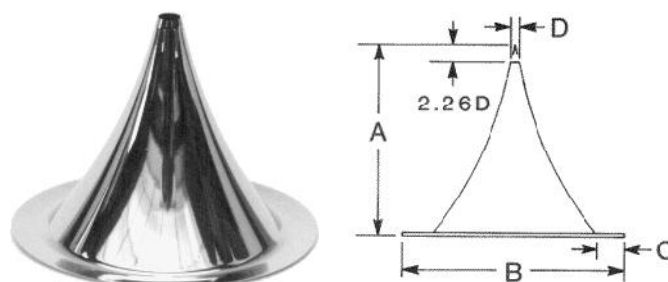
Supersone expansies zijn heftige stromingen van een gebied met een hoge druk naar een gebied met een lage druk. Door het grote drukverschil worden de deeltjes in de stromingen versneld tot boven de geluidssnelheid[4].

De bundel wordt nu ook wel een supersone bundel genoemd. De deeltjes in een supersone bundel gedragen zich anders dan in normale bundels. Het leiden van de supersone bundels door een nauwe lange opening dient voorkomen te worden. De interactie van de deeltjes met de wand verstoort de bundel en veroorzaakt bijeffecten die niet gewenst zijn. Door dit verschijnsel hebben skimmers ook geen cilindrische vorm maar een tapse vorm, om er voor te zorgen dat de deeltjes in de bundel bijna geen

wandoppervlak tegenkomen. Tijdens het ontwerpproces dient hier rekening mee te worden gehouden.

B. Skimmer I

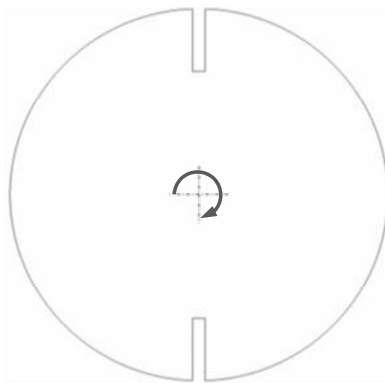
Van de geëxpandeerde bundel is het alleen noodzakelijk om de rechtdoor gaande stroming te hebben. Om dit te realiseren wordt er een skimmer (figuur 4.4) voor de cascaded arc plasma source geplaatst. Het gat in de skimmer moet in lijn staan met de opening van de anode basisplaat van de cascaded arc. Het gat in de skimmer heeft een diameter van 1 tot 3 mm. De skimmer zorgt ervoor dat alleen de recht doorgaande deeltjes van de bundel doorgelaten worden. De rest wordt afgebogen en afgepompt.



Figuur 4.4. Skimmer design [5]

C. Motor met chopperdisk

De cascaded arc plasma source produceert een continue output van geladen deeltjes, maar voor de meeste experimenten is dit niet gewenst. Het proefstuk zal hierdoor continu beschoten worden met geladen deeltjes. Hierbij zal de meetapparatuur ook continu signaal ontvangen van het interactieproces met het proefstukoppervlak. Hierdoor kunnen resultaten niet met elkaar vergeleken worden. Door gebruik te maken van een gepulseerde bundel, wordt dit verholpen. Dit gebeurt door de continue bundel output mechanisch in stukken te hakken door een chopperdisk. Deze chopperdisk wordt getoond in figuur 4.5. Deze chopperdisk bestaat uit een ronde schijf met een spleet aan de buitenkant van de schijf. Deze spleet staat in de hartlijn van de output van de cascaded arc. Door deze chopperdisk te laten roteren, wordt er per omwenteling twee pulsen gecreëerd. De rest van de tijd zal de chopperdisk de bundel blokkeren van verdere voortgang. De rotatie wordt bekrachtigd door een motor. Hierdoor kunnen er in de huidige opstelling 400 pulsen per seconden worden gecreëerd. Er wordt ook wel gesproken over een meetfrequentie van 400 Hz. Elke puls is goed voor één meetwaarde.



Figuur 4.5: Chopperdisk huidige opstelling

D. Skimmer II

Zorgt er eveneens voor dat nadat de bundel gepulst is, alleen de recht doorgaande deeltjes worden doorgelaten. De overige gasdeeltjes worden afgebogen en afgepompt.

4.2.2 Functieblokschema

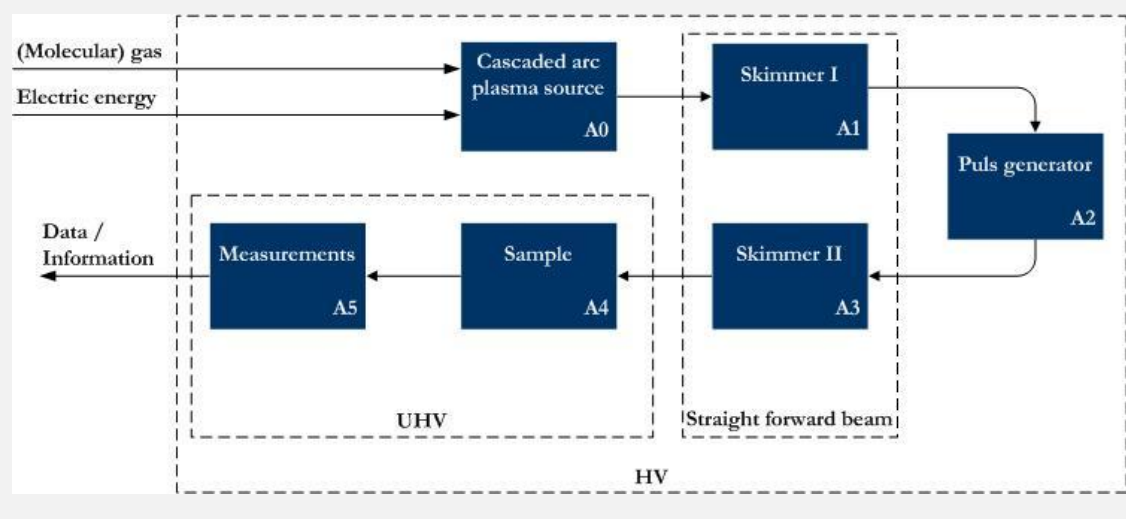
Differentieel gepompte bundellijn

Zoals beschreven in 4.2.1 wordt er gebruik gemaakt van een gepulseerde bundel. Deze gepulseerde bundel zal ook voor de nieuwe configuratie wenselijk zijn. Het verschil ten opzichte van de huidige configuratie is dat uit de gepulseerde bundel een deelselectie dient te worden gemaakt, waardoor een selectie ontstaat van deeltjes met een bepaalde energie.

Deze gepulseerde bundel wordt gecreëerd door de rotatie van de chopperdisk. Deze chopperdisk is een oplossingsprincipe voor de functie 'het genereren van een puls'. Hierdoor zal in de komende analyse gesproken worden over een 'pulsgenerator'.

In figuur 4.6 wordt het functieblokschema getoond van de huidige configuratie. Input is (moleculair) gas en elektrische energie. De cascaded arc plasma source ioniseert het gas dat vervolgens via de skimmer(s) en pulsgenerator op het proefstukoppervlak wordt geschoten. De gas-oppervlakte interactie wordt gemeten met verschillende meetapparatuur. De data verkregen uit de metingen is de output.

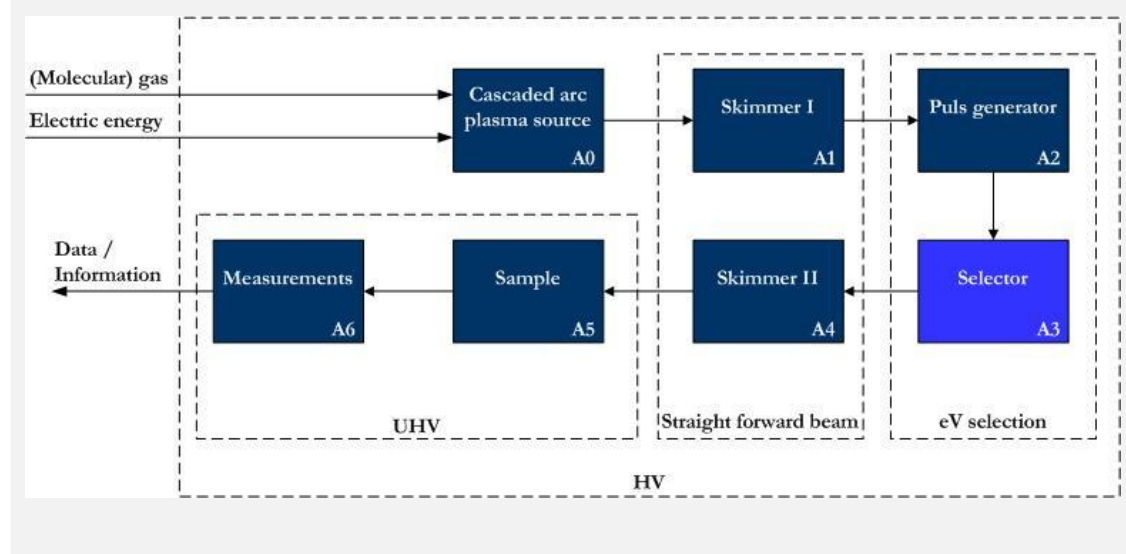
Figuur 4.6: Functieblokschema huidige configuratie differentieel cascaded arc source



Gewenste situatie

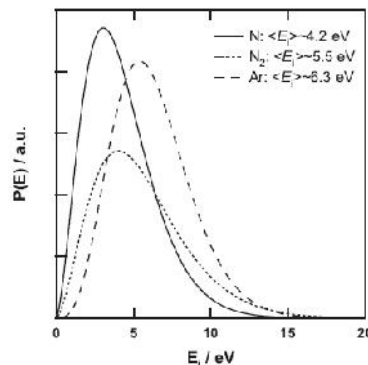
In figuur 4.7 is de gewenste eindsituatie afgebeeld in een functieblokschema. Er is te zien dat er ten opzichte van de huidige situatie een functie is bijgekomen, de selector, afgebeeld in licht blauw.

Figuur 4.7: Functieblokschema gewenste situatie differentieel cascaded arc source



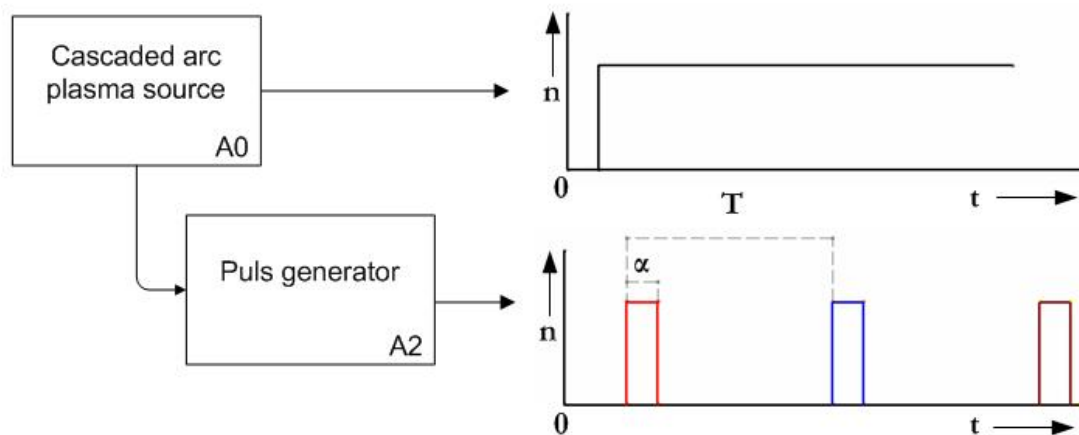
4.2.3 Brongassen

De cascaded arc plasma source ioniseert het (moleculaire) gas. Het werk in de afgelopen jaren heeft zich vooral gefocust op het gebruik van argon (Ar), stikstof (N) en moleculaire stikstof (N₂) als toegevoerd gas. Dit zal ook in de nabije toekomst zo blijven. Het ontwerp zal gebaseerd worden op het gebruik van deze gassen. Figuur 4.8 geeft de energieverdeling aan van de gebruikte gassen. De horizontale as geeft de energie aan van de deeltjes. De verticale as toont de hoeveelheid deeltjes per energie. De gemiddelde energie van deeltjes in de gasbundel wordt rechtsboven in figuur 4.8 weergegeven[2].



Figuur 4.8 Karakteristiek van de energieverdeling van de bundels gebruikt in de Surface-PSI.[2]

De cascaded arc plasma source zorgt voor een continue output met een deeltjes karakteristiek afgebeeld in figuur 4.8. Deze continue output wordt door de pulsgenerator omgezet in een discontinue bundel, ofwel een puls. Deze puls omvat de gehele energiebandbreedte. Dit proces is schematische afgebeeld in figuur 4.9. De verticale as geeft de hoeveelheid gas (n) aan. Op de horizontale as wordt de tijd weergegeven. Een puls is weergegeven met de letter α en de periodetijd tussen twee opeenvolgende pulsen met de letter T .



Figuur 4.9. Schematische weergave pulsvorming.

4.2.4 Technische ontwerpspecificatie

Van deze puls α dient een deelselectie gemaakt te worden. Immers puls α omvat de gehele energiegebied (1-10 eV). Hier wordt gesproken over een selectie in elektronvolts van de output van de cascaded arc plasma source. Wat betekent dit nu precies voor het ontwerpproces? Deze eenheid dient te worden vertaald naar een technische ontwerpspecificatie.

De energie van een deeltje kan ook beschreven worden met de volgende formule:

$$E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \quad \text{Formule (4.1)}$$

E: energie van een deeltje in elektronvolts

m: massa van atoom/molecule, aangegeven met de atomaire massa eenheid (amu)

v: snelheid van een deeltje in m/s

De massa van een atoom is een constante en wordt aangegeven met de atomaire massa eenheid (amu). Afgeleid kan worden dat de snelheid van een deeltje in verband staat met de energie van een deeltje. Bij de selectie van energie kan gekeken worden naar de snelheid van een deeltje en het snelheidsverschil van deeltjes ten opzichte van elkaar. Snelheid is de afgeleide van afstand gedeeld door de tijd, $v = \frac{ds}{dt}$.

Dit geeft de mogelijkheid om een selectie te baseren op een van deze twee parameters.

- Afstand: bij een snelheidsselectie op een vaste afstand, kan men berekenen hoe lang elke snelheid er over doet om deze afstand af te leggen. Aan de hand van deze tijdgegevens kan bepaald worden wanneer er deeltjes doorgelaten dienen te worden en wanneer niet. Dit is afhankelijk van de gewenste snelheidsselectie.
- Tijd: bij een vaste tijd, berekenen hoeveel afstand de deeltjes hebben afgelegd. Aan de hand van deze afstand, de selector zo instellen dat deze t.o.v. de pulsgenerator op de juiste afstand staat afgesteld, zodat alleen de geselecteerde deeltjes doorgelaten worden.

Er is gekozen om in het ontwerp een selectie te maken, die plaats vindt op een vaste afstand t.o.v. de pulsforming. Dit heeft met de 'Time Of Flight' (TOF) van de deeltjes te maken. Deze TOF is de tijd die de deeltjes er over doen om het proefstukoppervlak te bereiken gemeten vanaf het selectiemoment. Als dit selectiemoment niet op dezelfde afstand plaats vindt veranderd de TOF. Dit is een ongunstig uitgangspunt voor de onderzoeker en berekeningen waarin de TOF is verwerkt.

Snelheid deeltjes

Omzetten van energie naar snelheid. Gegevens gebruikte brongassen:

Tabel 4.1: Massa gebruikte brongassen		
Element	Massa* [amu]	Massa [Kg]
N	14	2,3254E-26
N ₂	28	4,6508E-26
Ar	40	6,644E-26

*1 [amu] is gelijk aan $1.661 \cdot 10^{-27}$ [kg].

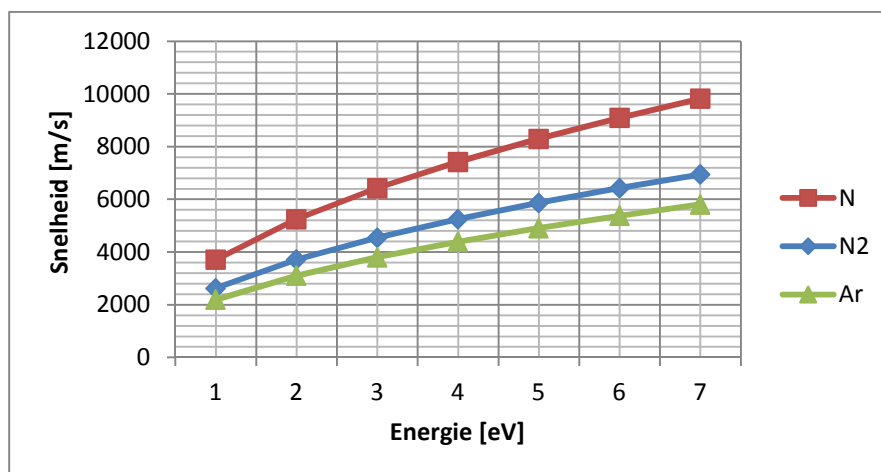
Berekenen van de snelheden per energie. Hierbij is 1 elektronvolt gelijk aan $1.602 \cdot 10^{-19}$ [J]. De snelheden per energie worden getoond in tabel 4.2. Deze waarden zijn berekend met behulp van formule 4.1. In het eisenpakket is opgenomen dat er een

selectie in elektronenvolts gemaakt dient te worden van 1 eV in het segment van 1-7 eV. Daarom worden hier alleen de snelheden berekend tot een energie van 7 eV.

$$E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \rightarrow |v| = \sqrt{\frac{2 \cdot E}{m}} \quad \text{Formule (4.2)}$$

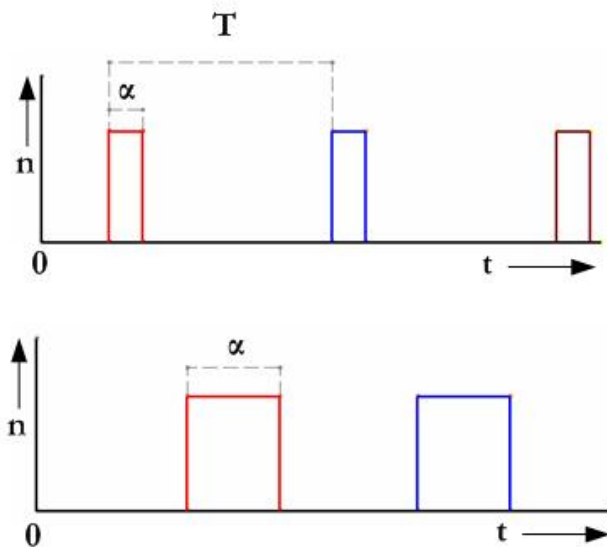
Tabel 4.2: snelheid per kinetische energie			
E [eV]	N	N ₂	Ar
	v [m/s]		
1	3712	2625	2196
2	5249	3712	3106
3	6429	4546	3804
4	7424	5249	4392
5	8300	5869	4910
6	9092	6429	5379
7	9821	6944	5810

De snelheidswaardes per energie worden tevens weergegeven in grafiek 4.1.



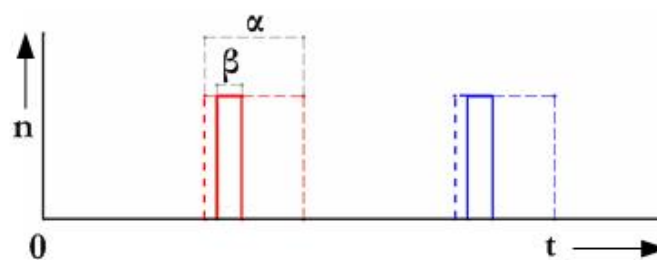
Grafiek 4.1. Snelheid per kinetische energie

Kort na het creëren van de puls zullen de deeltjes met een hogere snelheid per tijdseenheid meer afstand afleggen dan deeltjes met een lagere snelheid. De gecreëerde puls α zal dus per tijdseenheid oprekken. Figuur 4.9 geeft hier een schematische weergave van.



Figuur 4.9. Oprekking puls ten gevolge van snelheidsverschil deeltjes

Deze ‘opgerekte puls’ is nodig om onderscheid te kunnen maken tussen de verschillende snelheden. Hoe groter de afstand tussen de pulsvorming en het selectieproces, hoe groter het onderlinge tijdsverschil voor het afleggen van deze afstand. De scheiding tussen de verschillende deeltjessnelheden wordt hiermee vergemakkelijkt. Deze afstand is echter beperkt door de beschikbare ruimte, een afstand van ongeveer 0.5 meter. De snelheidsselectie wordt schematisch weergegeven in figuur 4.10. Hierin is puls β een deel uit puls α . Deze puls β bevat een snelheidsgebied, dat kleiner is dan het oorspronkelijke snelheidsgebied, puls α . Voor de analyse wordt hier gesproken over een ‘selector’. Deze selector maakt het mogelijk om uit puls α een selectie te maken. De plaats en breedte van puls β in puls α dient instelbaar te zijn.



Figuur 4.10. Selectie puls β in puls α

Pulsvorming

De pulsgenerator dient ook in het nieuwe ontwerp te zorgen voor de pulsvorming. De puls frequentie ligt echter hoger, 1000 Hz. De pulsgenerator kan beschreven worden als een deur die 1000 keer per seconden open en dicht dient te gaan. De puls dient gecreëerd te worden door een onderdeel te voorzien van een opening, bijvoorbeeld een gat of spleet, zodat de bundel door het gat het onderdeel kan passeren als de opening in lijn

staat met skimmer I. Staat de opening niet in lijn, dan wordt de bundel geblokkeerd en is er geen verdere doorgang. Afhankelijk van de hoeveelheid openingen en beweging van het onderdeel, dient het een puls frequentie op te leveren van 1000 Hz.

Bekend is dus dat het onderdeel één of meerdere openingen moet bezitten die het mogelijk maakt dat de bundel het onderdeel kan passeren. De uitvoering en de hoeveelheid openingen is afhankelijk van de werkwijze voor het behalen van de meetfrequentie. Door de samenwerking van de pulsgenerator en selector zal er voor het behalen van de meetfrequentie een werkwijze gekozen moeten worden die geschikt is voor beide functies.

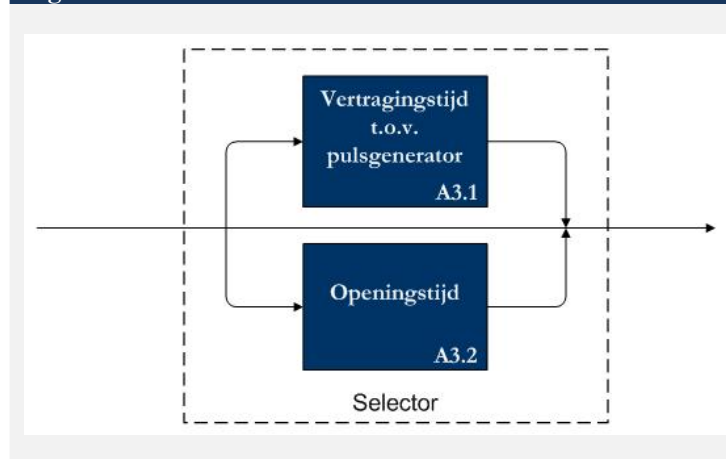
Selectietijd selector

De afstand tussen de pulsgenerator en de selector is beperkt door de beschikbare ruimte, ongeveer 0.5 meter. De selectietijd voor de verschillende energiegebieden kunnen met behulp van de berekende snelheden uit tabel 4.3 berekend worden. Deze waarden worden getoond in tabel 4.3. In het eisenpakket is aangegeven dat er een selectie gemaakt dient te worden van 1 eV. Stel men wil een selectie hebben van 2-3 eV van het brongas stikstof. De selector dient hierbij een vertraging te hebben van 78 μs ten opzichte van de pulsgenerator om 3 eV door te laten. Na 95 μs is 2 eV gepasseerd en dient de overige energie weer geblokkeerd te worden van verdere doorgang. Afgeleid kan worden dat per energieselectie de selector een andere vertraging- en openingstijd heeft. De twee uiterste gevallen zijn, stikstof 6-7 eV openingstijd (55-51) 4 μs en argon 1-2 eV openingstijd (228-161) 67 μs .

Tabel 4.3: Tijdcalculatie per energie voor een afstand van 0.5 meter						
E [eV]	N		N ₂		Ar	
	v [m/s]	t [μs]	v [m/s]	t [μs]	v [m/s]	t [μs]
1	3712	135	2625	190	2196	228
2	5249	95	3712	135	3106	161
3	6429	78	4546	110	3804	131
4	7424	67	5249	95	4392	114
5	8300	60	5869	85	4910	102
6	9092	55	6429	78	5379	93
7	9821	51	6944	72	5810	86

Functionanalyse selector

De hoofdfunctie van de selector kan als volgt gedefinieerd worden: het maken van een selectie uit de door de pulsgenerator gecreëerde puls. Deze hoofdfunctie kan opgedeeld worden in twee deelfuncties, die gezamenlijk moeten zorgen voor het selectieproces. Bekend is dat de vertraging- en openingstijd van de selector van belang zijn voor het selectieproces. De deelfuncties van de selector wordt schematische weergegeven in figuur 4.11.

Figuur 4.11: Deelfuncties selector

4.2.5 Randvoorwaarden

Het ontwerpproces heeft zich gefocust op oplossingen in het mechanische vakgebied. In het getoonde ontwerp zijn oplossingen beschreven die mechanisch van aard zijn. De expertise van de ontwerpafdeling van FOM-Rijnhuizen is het ontwerpen van mechanische systemen en componenten die nodig zijn voor de experimenten binnen Rijnhuizen. Nadeel kan zijn dat er mogelijke oplossingen buiten het vakgebied niet meegenomen zijn.

4.3 Methodiek

Hieronder een beschrijving van de methodiek die tijdens het project is gevolgd. Opgedeeld in drie fases:

- Probleem definiërende fase
 - Analyse opstelling Surface-PSI
 - Functieanalyse systeemniveau / componentniveau
 - Opdracht analyse
 - Programma van eisen
 - Bepalen ontwerpspecificaties
 - Invloed van omgeving op het ontwerpproces
- Werkwijze bepalende fase
 - Concepten
 - Review concepten aan programma van eisen
 - Conceptkeuze
- Uitvoerende fase
 - Uitwerken van gekozen oplossingsprincipe/concept
 - 3D CAD model Catia V5
 - Constructieve / verifiërende berekeningen
 - Documentatie

5 Omgevingsconditie

De experimenten op de Surface-PSI worden uitgevoerd onder (ultra) hoog vacuüm. De cascaded arc bevindt zich in een differentieel gepompte bundellijn. In dit gebied heerst een fijn/hoog vacuüm druk. Voor de experimenten is het belangrijk dat de omgevingsconditie zo stabiel mogelijk is. De omgeving is hierdoor een belangrijke factor in het ontwerpproces. Het heeft zowel invloed op systeemniveau (werkwijze, constructie) als op componentniveau (materiaalkeuze) en heeft hierom een grote invloed op het gehele ontwerpproces. In de volgende paragrafen zullen de gevolgen uitgelicht worden die door de omgevingsconditie geïntroduceerd worden.

5.1 Componentniveau

Materiaal

Niet elk materiaal kan gebruikt worden in de vacuümtechniek. Materialen toegepast in de vacuümtechniek dienen aan bepaalde eisen te voldoen (L. Wolterbreek Muller, 1989, p. 167). Dit zijn:

- Geringe ontgassing; het vrijkomen van gassen en dampen vanaf een oppervlak. Dit is een gevolg van de desorptie van verontreinigingen, bijvoorbeeld vet en olie en adsorptie van gebonden gasdeeltjes. Om dit te voorkomen moeten oppervlakken in vacuüm vrij zijn van stof, vuil, olie en condens.
- Dampdruk van gebruikte materialen (belangrijke factor); het verdampen van materiaal in een gesloten ruimte. Hoe hoger de dampdruk van een materiaal, hoe minder geschikt het materiaal toepasbaar is in de vacuümtechniek. Een te hoge dampdruk van een materiaal kan de einddruk van een vacuümsysteem nadelig beïnvloeden. De dampdruk neemt toe met toenemende temperatuur, hier moet opgelet worden bij systemen die uitgestookt worden.
- Geringe permeatie; gasdoorlaatbaarheid van wanden en onderdelen.
- Chemisch voldoende inert, bestand tegen oplosmiddelen en tegen verhitte zonder te sterke oxidatie.

De materialen in het ontwerp moeten toepasbaar zijn in het fijn- hoog vacuüm gebied. Getrokken, gewalste en geperste materialen zijn in dit drukgebied goed bruikbaar. Veel gebruikte materialen zijn roestvaststaal (constructiemateriaal), aluminium, koper, titanium, keramische materialen, glas (kijkvensters) en de kunststoffen viton en teflon.

Bewegende onderdelen en smering

Bij smering van bewegende onderdelen in een vacuümomgeving moet men rekening houden met een aantal factoren.

- De afwezigheid van lucht zorgt ervoor dat er geen wrijvingswarmte kan worden afgevoerd door convectorie. Dit kan hogere temperaturen veroorzaken in motoren,

spoelen en lagers. Waterkoeling is in sommige gevallen noodzakelijk om de warmte af te voeren.

- Smerende eigenschappen van metalen worden vaak veroorzaakt door een oxide laag, gevormd door een reactie met zuurstof. Door wrijving slijt deze oxide laag. In combinatie met de afwezigheid van zuurstof groeit deze oxidehuid niet meer aan. Dit kan grotere wrijvingskrachten veroorzaken. Het gevolg hiervan kan zijn het wegvreten van materiaal, vastlopen en de vorming van een koudlas.
- Conventionele smeermiddelen kunnen niet worden toegepast vanwege de hoge dampdrukken. Hierdoor verdampt het smeermiddel.

5.2 Systeemniveau

Opstellingen zijn vaak opgebouwd uit meerdere deelsystemen. Dit maakt het mogelijk verschillende experimenten en processen uit te voeren. Deze deelsystemen dienen vacuümdicht met elkaar verbonden te worden. Voor modificatie of reiniging is het gebruikelijk dat hiervoor demonteerbare (flens)verbindingen worden toegepast. Oneffenheden op het oppervlak dienen te worden opgevuld met een pakking. Deze pakking dient zowel plastisch te zijn om de onregelmatigheden op te vullen als elastisch om de uitgeoefende druk aan te kunnen. Helaas zijn er geen materialen met deze eigenschappen en wordt er gebruik gemaakt van een compromis oplossing. Bij fijn/hoog vacuüm wordt er gebruikt gemaakt van elastomeer afdichtingen, meestal een o-ring. Bij ultra hoog vacuüm worden er pakkingen van zacht metaal toegepast, bijvoorbeeld koper. Elastomeren zijn hier niet meer toepasbaar i.v.m. de hogere uitstoot temperatuur (150-400 °C), ontgassing en permeatie (L. Wolterbreek Muller, 1989, p. 173). Bij het verbinden van de onderdelen binnen het ontwerp zal gebruik gemaakt worden van elastomeerafdichtingen i.v.m. de heersende fijn/hoog vacuüm druk.

Constructie

De onderdelen die zorgen voor de scheiding tussen de atmosfeer en het vacuüm zullen een uitwendige drukbelasting ondervinden, deze drukbelasting is afhankelijk van de einddruk in de vacuümkamer. In de praktijk wordt hiervoor vaak drukbelasting van 1000 millibar gehanteerd (drukverschil tussen 1 atmosfeer en theoretisch 'luchtledig'). De onderdelen die een drukbelasting ondervinden dienen sterk genoeg geconstrueerd te worden.

Permanente verbindingen zoals lassen en soldeerverbindingen dienen op de juiste manier te worden uitgevoerd. Er dient voorkomen te worden dat op de verbinding plaats vuil- en gasinsluitingen kunnen ontstaan. Lasafdichting moet zo gekozen worden dat de las zich aan de vacuümzijde van het onderdeel bevindt. Constructies met dubbele lassen dienen voorkomen te worden i.v.m. ingesloten gas/lucht.

Virtueel lek

Insluiting van gas in een kleine ruimte. Dit wordt virtuele lekken genoemd, omdat ze zich als lek (slecht vacuüm) voordoen zonder een echt lek te zijn en zonder gelokaliseerd te kunnen worden (L. Wolterbreek Muller, 1989, p. 175). Een virtueel lek kan voorkomen bij foutief gelaste onderdelen. Een ander bekend voorbeeld is het gebruik van bouten in

vacuüm in combinatie met een potgat. Weglekkend gas kan dan gezien worden als een virtueel lek, omdat het lek niet gelokaliseerd kan worden. Dit kan overigens gemakkelijk voorkomen worden door de bouten te voorzien van een klein gaatje door het hart van de bout. Dit zorgt voor een open verbinding tussen de ruimte tussen de bout en het potgat. In het ontwerp dienen virtuele lekken voorkomen te worden.

6 Ontwerp

In de analyse is beschreven welke parameters belangrijk zijn voor de selectie in elektronenvolts. In dit hoofdstuk zal beschreven worden welk oplossingsprincipe er gekozen is voor het behalen van de meetfrequentie. Zoals bekend dient de werkwijze toepasbaar te zijn op de functies van pulsgenerator en selector. Indien de werkwijze voor het bepalen van de meetfrequentie bekend is, kan er gekeken worden hoe de selectie tot stand kan komen bij het gekozen oplossingsprincipe.

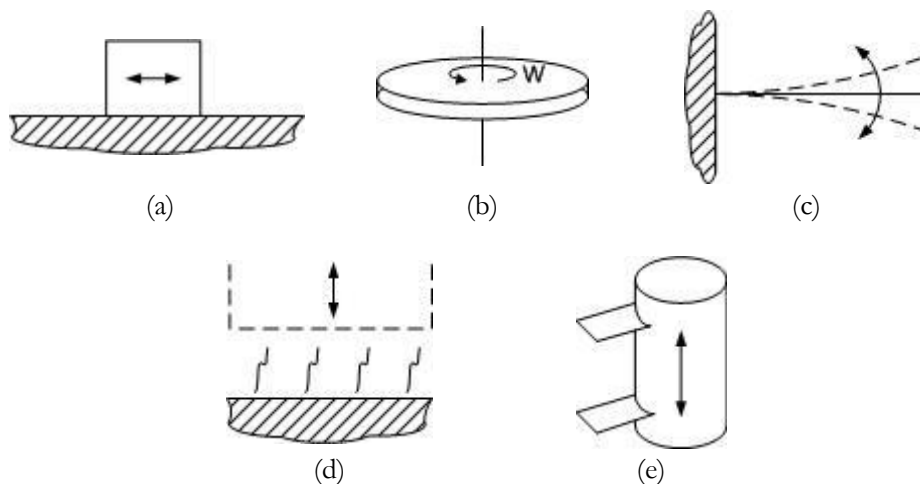
Daarnaast zal er ingegaan worden op de voordelen die het heeft dat de afstand tussen de cascaded arc en skimmer I instelbaar is. Welke eisen hieraan gesteld worden. Er worden mogelijke oplossingsprincipes beschreven en er zal beargumenteerd worden wat hierin de beste keus is. Tot slot zal dit ook gedaan worden voor het ontwerp van skimmer I.

6.1 Meetfrequentie

Concepten

De onderzochte oplossingsprincipes kunnen onderverdeeld worden in twee groepen:

- Het in trilling brengen van een mechanisme met een frequentie, zodanig dat deze een meetfrequentie van 1000 Hz kan halen.
- Een beweging van een mechanisme met een rotatie of translatie, zodanig dat deze een meetfrequentie van 1000 Hz kan halen.



Figuur 6.1. Verschillende oplossingsprincipes voor het bepalen van de frequentie: (a) translatie, (b) rotatie, (c) trilling, (d) magneet en (e) bladveer.

Conceptkeuze

Bij hoge frequenties kan materiaalvermoeïng optreden. Dit komt vooral voor bij wisselende belasting als gevolg van verandering in bewegingsrichting. De getoonde concepten in figuur 6.1 worden in tabel 6.1 met elkaar vergeleken op een aantal kenmerken.

De kenmerken zijn:

- Vermoeïngsterkte; wordt de constructie belast op vermoeïng?
- Pulsen per cycli; mogelijkheid tot meerdere pulsen per cycli?
- Aansturing; mogelijkheid tot aansturing van beweging?

Tabel 6.1: Conceptvergelijking meetfrequentie

Eisen	Weegfactor	Variant					Ideaal
		a	b	c	d	e	
Vermoeïngsterkte	2	1	3	2	3	1	4
Pulsen per cycli	1	2	4	1	1	1	4
Aansturing	1	2	3	3	1	3	4
Totaal		6	13	8	8	6	16
Totaal %		38	81	50	50	38	100

Uit tabel 6.1 blijkt dat het concept (b) rotatie het best scoort. Dit komt voornamelijk door de vermoeïngsterkte en de mogelijkheid tot meer pulsen per cycli.

Doordat de andere werkwijze te maken hebben met wisselende bewegingsrichtingen en de hierbij gepaarde wisselende spanningen worden deze concepten belast op vermoeïng. Bij rotatie is er één bewegingsrichting waardoor het materiaal niet op vermoeïng belast wordt. Dit concept wordt tevens al in de huidige configuratie gebruikt voor de functie van pulsgenerator.

Voordelen van dit concept b zijn:

- + de constructie wordt niet op vermoeïng belast.
- + de aansturing kan relatief eenvoudig gerealiseerd worden (d.m.v. een motor)
- + er per cycli meerdere pulsen gecreëerd kunnen worden door het roterende onderdeel te voorzien van meerdere openingen.

Nadeel van dit concept:

- Roterende onderdelen kunnen bij hoog toerental een grote centripetale kracht ondervinden.

6.2 Selector

In tabel 6.2 worden de ontwerpeisen getoond die zijn afgeleid uit tabel 3.1. Vanuit de werkwijze voor het bepalen van de puls-frequentie dient er naar een oplossingsprincipe gezocht te worden dat aan de ontwerpeisen voldoet.

Bij het gekozen oplossingsprincipe zal het roterende onderdeel voorzien dienen te worden van één of meerdere openingen, die de mogelijkheid moeten bieden om een deel van de puls te laten passeren.

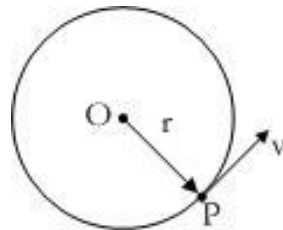
De vertragingstijd is afhankelijk van welk snelheidsgebied doorgelaten dient te worden (plaats van puls β in puls α). De openingstijd is afhankelijk van (1) de hoeksnelheid van

de rotatie, (2) de vorm van de opening en (3) de plaats van de opening ten opzichte van de rotatieas. Doordat er een variatie is in de openingstijd van de selector 4-67 μs , zal minimaal één van de drie verstelbaar dienen te zijn.

Tabel 6.2: Ontwerpeisen selector	
Omschrijving	Waarde
Gelijke frequentie pulsvorming	1000 [Hz]
Vertragingstijd t.o.v. pulsvorming	51-161 [μs]
Openingstijd	4-67 [μs]
Instelbaar tijdens bedrijf	ja

In de huidige configuratie is gebruik gemaakt van een ‘chopperdisk’. Een schijf met een opening (spleet) aan de buitendiameter. Door de rotatie zal de opening per cycli een puls genereren. De cilindrische vorm van een schijf heeft als voordeel dat het een uniforme centripetale kracht ondervindt. Spanningsconcentraties worden voorkomen door het vermijden van scherpe hoeken. In het ontwerp van de selector, zal vanwege deze voordelen ook uitgegaan worden van een schijf, met één of meerdere openingen.

Zoals beschreven heeft de plaats van de opening invloed op de snelheid waarmee het de bundel passeert ($v_{\text{opening}} = \omega_{\text{schijf}} \cdot r_{\text{opening}}$). Hoe verder de opening van de rotatieas afligt, hoe sneller de opening de bundel zal passeren. In figuur 6.2 wordt dit schematische weergegeven.



Figuur 6.2. Beweging van punt P (plaats van opening) met een straal r en een middelpunt in punt O.

Meerdere openingen in de schijf heeft als voordeel dat per omwenteling er meerdere pulsen gecreëerd kunnen worden. Hierdoor kan de hoeksnelheid van de schijf verminderd worden om de gewenste puls frequentie te halen. De breedte van de opening zal hierdoor kleiner dienen te worden, omdat de snelheid, waarmee het gat de bundel passeert, langzamer is ($\downarrow v_{\text{opening}} = \downarrow \omega_{\text{schijf}} \cdot r_{\text{opening}}$). Is v_{opening} langzamer dan is de openingstijd eerder verstreken en dient de opening kleiner te worden om het zelfde resultaat te behalen bij een grotere hoeksnelheid. Dit geeft als nadeel dat de instelling voor de verschillende selectiegebieden dichter bij elkaar komt te liggen. Tabel 6.3 toont de verschillende openingsbreedtes aan per selectie en drie verschillende rotatiefrequenties.

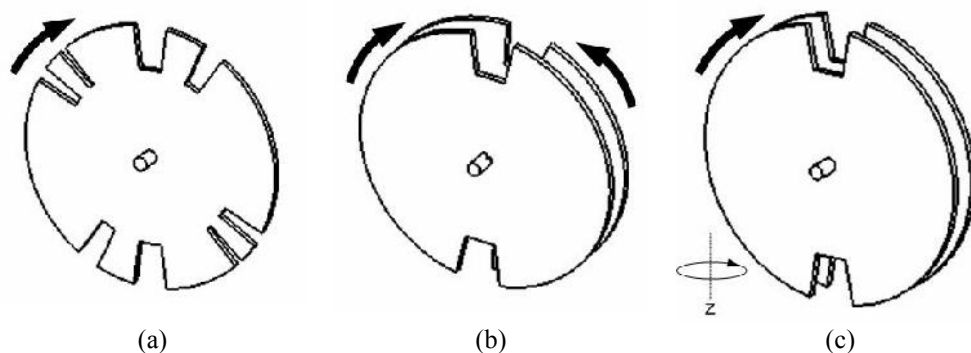
Tabel 6.3: Openingstijden selector bij gebruik van 1, 2 of 3 openingen. Brongas N				
E [eV]	Δt	1 (1000 Hz)	2 (500 Hz)	3 (333,3 Hz)
		Openingsbreedte*		
		mm	mm	mm
1 – 2	39	11,16	5,58	3,71
2 – 3	17	4,94	2,47	1,65
3 – 4	10	2,95	1,47	0,98
4 – 5	7	2,01	1,01	0,67
5 – 6	5	1,48	0,74	0,49
6 – 7	4	1,15	0,58	0,38

*Berekende openingsbreedte als de openingen zich op een straal van 45 mm bevinden (straal P = 45 mm)

De nauwkeurigheid waarmee de openingsbreedte instelbaar dient te zijn, neemt toe bij een afnemende rotatiefrequentie. Bij een hogere rotatiefrequentie van de schijf is een nauwkeurige selectie haalbaar. Hierdoor zal er gestreefd worden naar het gebruik van een hoge rotatiefrequentie. Het gebruik van twee openingen ligt hierbij voor de hand. Dit komt omdat bij hoge rotatiefrequenties onbalans van onderdelen een belangrijke rol speelt. Hierdoor dienen de onderdelen een grote mate van symmetrie te bezitten om de rotatieas. Bij het gebruik van twee openingen wordt deze symmetrie gewaarborgd.

Concepten variabele openingstijd

De openingstijd dient variabel te zijn tussen de 4 en 67 μs . hieronder worden een aantal oplossingsprincipes getoond.



Figuur 6.3. Oplossingsprincipes voor de verschillende openingstijden selector. (a) schijf met verschillende openingsbreedte (b) twee contra roterende schijven en (c) twee roterende schijven met een extra instelmogelijkheid om de schijven om de z-as te roteren.

Conceptkeuze

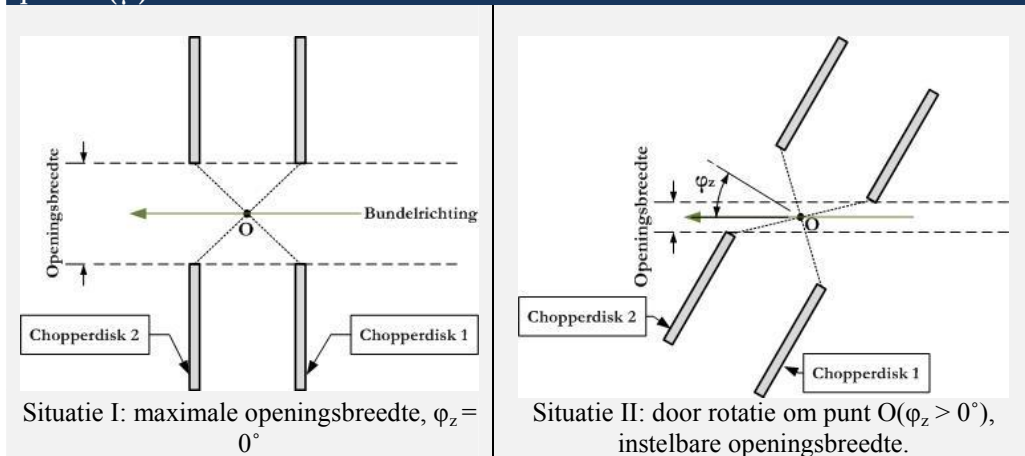
De concepten zijn op een aantal kenmerken met elkaar vergeleken. Deze kenmerken zijn:

- Instelbaarheid; breedte van de opening instelbaar of ligt deze vast door de geometrie.
- Fabricage; hoe meer bewerkingen aan de roterende schijf, hoe groter de kans is op excentriciteit van het massamiddelpunt. Gevolg, onbalans.
- Aansturing; mate van complexiteit in aansturing en eventuele overbrengingsmechanisme.

Tabel 6.4: Conceptvergelijking variabele openingstijd

Eisen	Weegfactor	Variant			Ideaal
		a	b	c	
Instelbaarheid	1	2	3	4	4
Fabricage	1	3	2	3	4
Aansturing	1	3	2	3	4
Totaal		8	7	10	12
Totaal %		67	58	83	100

Concept c, twee roterende schijven met een extra instelmogelijkheid om het geheel om de z-as te roteren, komt hier het beste uit. Hierbij kan een zelf gekozen openingsbreedte worden ingesteld. Figuur 6.4 toont het bovenaanzicht van concept c. Het concept kan in het horizontale vlak roteren om een vaste as, die loodrecht op het papier staat en door het scharnierpunt O gaat.

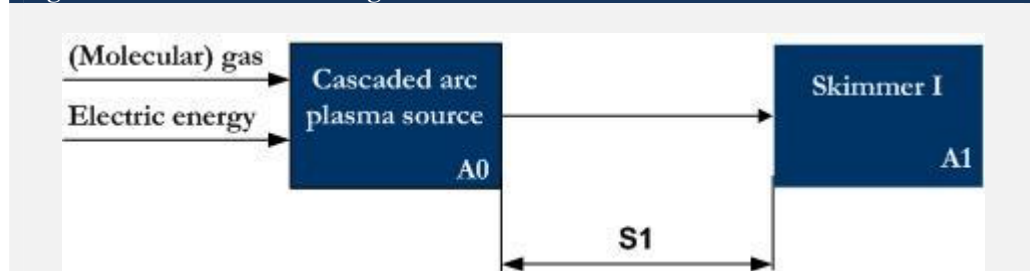
Figuur 6.4: Bovenaanzicht van concept c, instelling openingsbreedte door rotatie om punt O (φ_z)

6.3 Instelbare afstand tussen cascaded arc en skimmer I

De afstand S_1 (figuur 6.5) tussen de cascaded arc en skimmer I dient instelbaar te zijn. Het kunnen instellen van afstand S_1 tussen de cascaded arc en skimmer I moet de volgende voordelen opleveren:

- Het kunnen selecteren van de eigenschappen van de plasma-expansie. Bij plasma-expansie zal er op een x afstand een schokgolf plaatsvinden. De eigenschappen van het plasma veranderen door deze schokgolf. Scherpe voorwerpen, zoals het uiteinde van een skimmer zorgen er voor dat de schokgolf wordt gebroken en niet plaatsvindt. Is de afstand instelbaar tussen de cascaded arc en de skimmer dan is er de keuze of de schokgolf plaats vindt of niet. Men kan dus de eigenschappen van het plasma beïnvloeden.
- Het mogelijk maken om de intensiteit van de bundel aan te passen. Onafhankelijk van het gebruikte bundelgas.
- Er een kans bestaat dat het energiegebied van de deeltjes, gegenereerd door de cascaded arc, wordt vergroot.

Figuur 6.5: Schematische weergave instelbare afstand S_1



De nozzle van de cascaded arc dient in lijn te liggen met skimmer I. Is deze uitlijning niet goed dan kan dit tot gevolg hebben dat er geen deeltjes het proefstukoppervlak bereiken. Voor deze instelling is een mechanisme nodig dat een horizontale translatie mogelijk maakt tussen de twee componenten.

Concepten

Er zijn drie opties mogelijk:

- Concept a: Positie van cascaded arc instelbaar. Vaste positie skimmer I.
- Concept b: Positie van skimmer I instelbaar. Vaste positie cascaded arc.
- Concept c: Cascaded arc en skimmer I zijn beiden instelbaar.

Conceptkeuze

Bij de conceptkeuze speelt de vacuümomgeving een belangrijke rol. Bekend is dat skimmer I zich in de eerste vacuümkamer bevindt. De omgeving heeft invloed op materiaalkeuze en smering van bewegende delen. Ook is de instelbaarheid lastiger. Hiervoor dient een doorvoer naar de atmosfeer ontworpen te worden. In de conceptkeuze zijn de volgende factoren meegenomen:

- Instelbaarheid: is de positie op een eenvoudige manier verstelbaar?
- Materiaalkeuze: is er beperking in materiaalkeuze in het concept?
- Smering van bewegende delen: is smering van translatie mogelijk?

Tabel 6.5: Conceptvergelijking instelbare afstand S_1

Eisen	Weegfactor	Variant			Ideaal
		a	b	c	
Instelbaarheid	1	4	2	3	4
Materiaalkeuze	1	3	1	2	4
Smering bewegende delen	1	4	3	2	4
Totaal		11	8	7	12
Totaal %		92	67	58	100

Concept a, positie van cascaded arc instelbaar, vaste positie skimmer I, is hierin de beste keus.

6.4 Skimmer I

De cascaded arc is beperkt in zijn mogelijkheden om te werken met reactieve gassen, zoals zuurstof of koolstof houdende moleculen (CH_4 , CO , CO_2). Reactieve gassen tasten de bron aan en hebben een negatieve invloed op de prestaties. In het geval van het gebruik van CO_2 is de snelle vorming van een koolstofcoating door depositie een probleem. Door deze negatieve invloeden op de cascaded arc is het niet wenselijk om deze gassen door de bron te laten stromen. Door het later toevoegen van deze gassen in de bundellijn zijn experimenten met deze reactieve gassen mogelijk. In de nieuw te ontwerpen skimmer moet het gebruik van deze reactieve gassen tot de mogelijkheden behoren. Skimmer I dient hiervoor voorzien te worden van een toevoerkanaal voor de aanvoer van deze gassen.

Het onderzoeken van deze gassen is interessant om meer te weten te komen over de samenstelling van deze moleculen. Vooral als deze moleculen zich in een aangeslagen toestand bevinden, veroorzaakt door het plasma. De mogelijkheid tot het gebruik van de gassen CO/CO_2 in het bijzonder. Hierbij is het doel om het plasma te gebruiken om de normale inerte CO_2 moleculen in een aangeslagen toestand te krijgen. Dit vergroot de reactiviteit van het molecuul significant. Het onderzoek moet op lange termijn leiden tot het ontwikkelen van een reactor die CO_2 emissies kan reduceren, door de CO_2 emissies om te zetten in (industriële) bruikbare stoffen.

Bij het ontwerp van de skimmer I dient op het volgende gelet te worden:

- De skimmer dient taps te lopen om de eigenschappen van de supersone bundel niet nadelig te beïnvloeden (paragraaf 4.2.1).
- Het mondstuk van het gaskanaal dient zo dicht mogelijk bij het gat van de skimmer te liggen.
- Het gas dient in de stromingsrichting van het plasma te spuiten, richting het proefstukoppervlak.

- Het plasma genereert warmte. De skimmer zal bestand moeten zijn tegen deze warmte. Door de afwezigheid van convectie zal de skimmer watergekoeld moeten worden.
- De skimmer dient demonteerbaar te zijn.

Conceptkeuze

Bij het ontwerp van de skimmer gaat het in dit geval niet over mogelijke concepten met betrekking tot werkwijze en vorm. Deze liggen allebei al vast. In paragraaf 7.2.8 zal hier verder op ingegaan worden.

7 Realisatie

7.1 Globale fasering

Het realisatieproces is onderverdeeld in een aantal deelproducten.

- Selectie elektronenvolt
 - Aansturing pulsgenerator & selector
 - Motorkeuze
 - Pulsgenerator
 - Chopperdisk voor pulsvorming
 - Selector
 - Dubbele chopperdisk ontwerp
 - Meetsysteem
 - Instelling selector (rotatie φ_z)
 - Doorvoering
- Afstand instelbaar tussen cascaded arc en skimmer I
 - Translatiemechanisme
- Skimmer I
 - Gastoevoerkanaal en leiding
 - Koeling

7.2 Realisatie per fase

7.2.1 Modificatie vacuümkamers

De huidige opstelling bestaat uit drie vacuümkamers (figuur 4.2). De kamers II en III zijn moeilijk bereikbaar en eventuele modificatie is lastig. De pulsgenerator in de huidige bundellijn zit in kamer II. De plaats van deze pulsgenerator zal in de nieuwe configuratie vervangen worden door de selector. De bevestigingsgaten in de basisplaat van kamer II kunnen hiervoor gebruikt worden. In de nieuwe configuratie zal de pulsgenerator ≤ 0.5 meter voor de selector komen te staan. In kamer II zijn twee aansluitflenzen beschikbaar. Wanneer meer doorvoeringen nodig zijn zullen deze doorgeleid dienen te worden naar de nieuwe ontworpen kamer. Kamer I en de buis, waarin de bron zich bevindt, zullen vervangen worden.

7.2.2 Aansturing pulsgenerator & selector

Door de afhankelijkheid van de selectie ten opzichte van de pulsvorming zal de afstemming tussen de pulsgenerator en de selector belangrijk zijn voor een betrouwbaar systeem. Het gekozen oplossingsprincipe, rotatie, zal aangedreven dienen te worden door

een motor. Elke module zal aangedreven worden door zijn eigen motor om de volgende reden: (1) de (instelbare) vertragingstijd en (2) de afstand van 0.5 m tussen pulsgenerator en selector.

Eisen die gesteld worden aan de motorkeuze en aansturing.

- Hoog vacuüm compatible
- Minimale rotatiefrequentie van 500 Hz (30000 omw/min)
- Synchrone rotatiefrequentie van de twee motors
- Vertragingstijd instelbaar tot op 1 μ s (hoekverdraaiing)

De synchrone rotatiefrequentie en hoekverdraaiing kunnen verkregen worden door gebruik te maken van twee encoders. Eén voor elke motor. Een encoder genereert pulsen wanneer de motoras wordt verdraaid. De pulsen worden geteld en omgezet in een hoekverdraaiing. Deze hoekverdraaiing kan ook gebruikt worden voor de absolute positie van de motoras. Door een offset in encoder pulsen kan de hoekverdraaiing gemanipuleerd worden. Deze manipulatie maakt het mogelijk om de vertragingstijd van de selector in te stellen. Door de hoekverdraaiing van de motoras een offset te geven door middel van een aantal encoder pulsen.

Voor het regelen van de rotatiefrequentie dient elke motor aangesloten te worden op een 'hall sensor motor driver'. Deze driver regelt de rotatiefrequentie en rotatierichting. Daarnaast dienen beide encoder outputs aangesloten te worden op een control board. Het control board dient de gewenste positie van de motorassen met elkaar te vergelijken en indien nodig bij te sturen door de motor driver aan te sturen. Dit control board is zelf te vervaardigen of kan bij een leverancier besteld worden.

De keuze is gevallen op een motor met driver van het bedrijf KOFORD engineering. Typenummer motor: 48H2575V/A5 1.9" Slotless Brushless DC motor. Datasheet in bijlage 4.

Typenummer hall sensor motor drive: H24V5A-2. Datasheet in bijlage 4.

Deze motor wordt geleverd met een encoder. Deze encoder geeft 2000 pulsen per rotatie. Dit biedt de mogelijkheid om de gestelde hoekverdraaiing van 1 μ s met 1 puls in te stellen.

Deze motoren kunnen gebruikt worden tot een toerental van 60.000 omwentelingen per minuut. De elektronica van de 'hall sensor motor driver' en control board zullen zich buiten het vacuüm bevinden. De motoren dienen door de afwezigheid van convectie watergekoeld te worden om te zorgen dat de motoren niet oververhit raken.

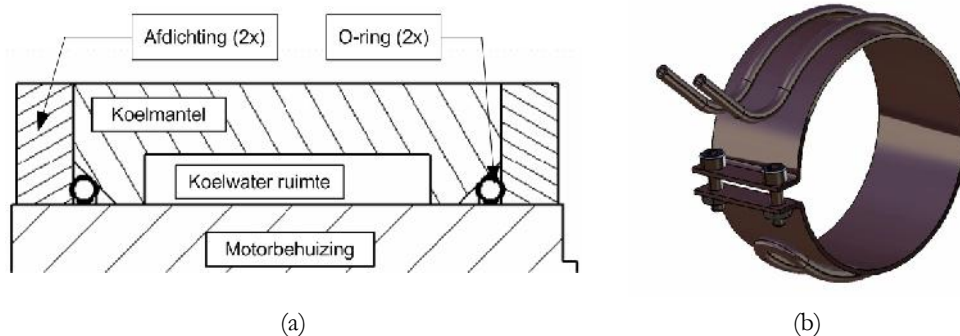
7.2.3 Koeling

Koeling van oppervlakken kan op twee manieren tot stand komen:

- Directe koeling; bij directe koeling stroomt het koelmedium over het oppervlak wat gekoeld dient te worden. Er is een goede warmteafvoer (figuur 7.1.a)

- Indirecte koeling; het koelmedium staat niet in direct verband met het te koelen oppervlak. Er is een tussenmedium aanwezig dat goed warmtegeleidend dient te zijn. Dit tussenmedium wordt gekoeld. Dit moet indirect leiden tot koeling van het gewenste oppervlak.

Voor het koelen van de motoren is er gekozen voor indirecte koeling. Bij directe koeling, dient er een mantel om de motor geplaatst te worden. Deze mantel dient aan de beide kopse kanten te worden afgedicht met bijvoorbeeld o-ringen. Deze afdichting geeft kans op lekkage en dit is niet gewenst. In plaats hiervan wordt er gebruik gemaakt van een mantel die over het motorhuis geklemd wordt. Op deze mantel is een koelkanaal gesoldeerd, figuur 7.1.b. De mantel is gefabriceerd van koper. Koper heeft uitstekende warmtegeleidende eigenschappen. Deze manier van indirecte koeling heeft vaak als nadeel dat er door de inklemming slechts op een aantal punten goed contact is tussen de twee oppervlakten. Om het contactoppervlak te verbeteren (en dus de warmtegeleiding) wordt er tussen de mantel en het motorhuis een thermische geleidende tape geplaatst, T412 (datasheet bijlage 4).



Figuur 7.1. directe koeling (a) en een koelmantel (b)

7.2.4 Balanceren

De gestelde rotatiefrequentie zorgt ervoor dat de onderdelen, gekoppeld aan de motoras, dynamisch uitgebalanceerd dienen te worden op G6.3 of beter (gegeven motorfabrikant bijlage 4). De norm G6.3 geeft de maximale tolerantie (excentriciteit) aan van het massamiddelpunt van alle roterende onderdelen ten opzichte van de rotatie van de motoras. De onderdelen(samenstelling) gekoppeld aan de motor dienen hierbij een gezamenlijk massamiddelpunt te bezitten die binnen deze norm ligt. Is de excentriciteit van het massamiddelpunt groter dan de opgegeven tolerantie dan kan dit leiden tot te grote lager krachten, ongewenste vibraties of een combinatie van deze twee. Hierdoor is het mogelijk dat de motor de verwachte levensduur niet haalt.

G6.3 is een norm van ISO 1940/1. De 6.3 staat voor 6.3 mm/s trilling snelheid onbalans [6]. De maximale excentriciteit voor het massamiddelpunt kan berekend worden met de formule 7.1 [7]:

$$G = e \cdot \omega = \text{constant} \quad \text{Formule (7.1)}$$

$$\omega = \text{hoeksnelheid in } \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

De motor kan een toerental van 60.000 omwentelingen per minuut aan. In het ontwerp is deze waarde aangenomen voor de berekening van de excentriciteit van het massamiddelpunt. Dit om er zeker van te zijn dat ook bij het gebruik van dit toerental de motor blijft functioneren.

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot \frac{n}{60} \rightarrow 2 \cdot \pi \cdot \frac{60000}{60} = 6283.19 \left[\frac{\text{Rad}}{\text{s}} \right]$$

$$e = \frac{G}{\omega} \rightarrow \frac{6.3 \text{ [mm/s]}}{6283.19 \left[\frac{\text{Rad}}{\text{s}} \right]} = 0.001 \text{ [mm]}$$

Dit betekent dat alle onderdelen een gezamenlijke excentriciteit mogen veroorzaken van 0.001 mm. De bevestiging van de schijven aan de motoras dient hierdoor zo “eenvoudig” mogelijk te zijn. Hiermee wordt bedoeld dat de samenstelling van de bevestiging moet bestaan uit zo min mogelijk onderdelen. Elk onderdeel kan zorgen voor onbalans. Verder zijn de volgende punten van belang voor de samenstelling:

- Gewicht; materiaalkeuze van de onderdelen
- Hoeveelheid onderdelen; hoe meer onderdelen hoe meer kans op afwijkingen
- Hoeveelheid bewerkingen van de onderdelen; elke bewerking kan zorgen voor onbalans.
- Toleranties; welke tolerantieveld mag een bewerking hebben om binnen de gestelde eis te blijven?
- Bewerkingsmethode; met welke bewerkingsmethode is de gestelde tolerantie haalbaar?
- Samenstelling; hoe wordt de samenstelling in elkaar gezet?

Doordat het gaat om een samenstelling van onderdelen, zullen eventuele afwijkingen in diverse onderdelen de gezamenlijke excentriciteit versterken of opheffen. Dit maakt het onmogelijk om een analyse te maken of de excentriciteit binnen de gestelde norm ligt. Worden er nauwkeurige toleranties op de bewerkingen geplaatst dan is het nog steeds de vraag of deze eis van 0.001 mm gehaald kan worden. De bewerkingen van de onderdelen zullen hierdoor een hoge tolerantie krijgen met in achtname van de toegepaste

bewerkingsmethode. In de testfase zal moeten blijken of de motor de opgegeven specificaties haalt.

7.2.5 Chopperdisks

Ronddraaiende onderdelen om een vaste as, zoals (vlieg)wielen en schijven zullen als gevolg van de rotatie een centrifugale kracht ondervinden. Deze centrifugale kracht veroorzaakt een reactiekracht in het materiaal, de centripetale kracht. Door de centrifugale kracht zal het materiaal de neiging hebben om uit te rekken. Het materiaal zal hierdoor op een trekspanning belast worden. Als de materiaalspanning te hoog oploopt kan dit tot gevolg hebben dat het onderdeel plastische vervormt of zelfs bezwijkt. Door de hoge rotatiefrequentie van de schijven ($\geq 500\text{Hz}$) is het belangrijk dat de spanning in het materiaal onder de rekgrens van het materiaal blijft. De centripetale kracht kan beschreven worden met de volgende formule:

$$\text{Centripetale kracht} = M\omega^2 r \rightarrow \rho A \omega^2 r \quad \text{Formule (7.2)}$$

De trekspanning in de lengterichting van het materiaal als gevolg van de centripetale kracht (vereenvoudigde weergave)[8]. In bijlage 2 wordt de formule gegeven voor de radiale en tangentele spanning als functie van de radius voor een schijf met een gat:

$$\sigma = \frac{F}{A} = \rho A \omega^2 \frac{[R^2 - r^2]}{2A} \rightarrow \rho \omega^2 \frac{R^2 - r^2}{2} \quad \text{Formule (7.3)}$$

Uit formule 7.3 is af te leiden dat de dichtheid van het materiaal grote invloed heeft op de trekspanning. Bij de materiaalkeuze dient gelet te worden op de verhouding tussen rekgrens (R_p) en materiaaldichtheid ρ , R_p / ρ . Dit wordt ook wel de specifieke sterkte genoemd, ofwel de sterkte per gewichtseenheid. In diagram C2.1 in bijlage 3 worden diverse materiaalgroepen met elkaar vergeleken[9].

Met in achtneming van de toepasbare materialen in een vacuümomgeving, is aluminium met een hoge treksterkte de beste keus. Een aluminiumlegering van de 7xxx groep. In diagram C.2.2 in bijlage 3 wordt er verder ingezoomd op de aluminiumgroep en is dit beter zichtbaar. Dit is een aluminiumlegeringsgroep met een hoge treksterkte. Handelsnamen zijn onder andere Perunal of ALCLAD.

Het doorrekenen van de trekspanningen in de schijven voor de pulsgenerator en de selector zullen door middel van finite element methode (FEM analyse) worden gedaan. Het berekenen van trekspanning op een uniforme roterende schijf is relatief eenvoudig. Helaas zullen door de openingen extra spanningen in het materiaal worden geïntroduceerd die niet eenvoudig zijn door te rekenen. Het doorrekenen van de schijven met behulp van FEM-analyse is hierbij een goed alternatief.

De chopperdisks zullen gemaakt worden doormiddel van draadvonken. Doordat de openingen ver van de rotatieas liggen, hebben deze meer invloed op de onbalans.

Tolerantie dient dan ook nauwkeuriger te zijn dan bij alle andere bewerkingen. Met draadvonken is een hoge positioneer nauwkeurigheid en tolerantie haalbaar.

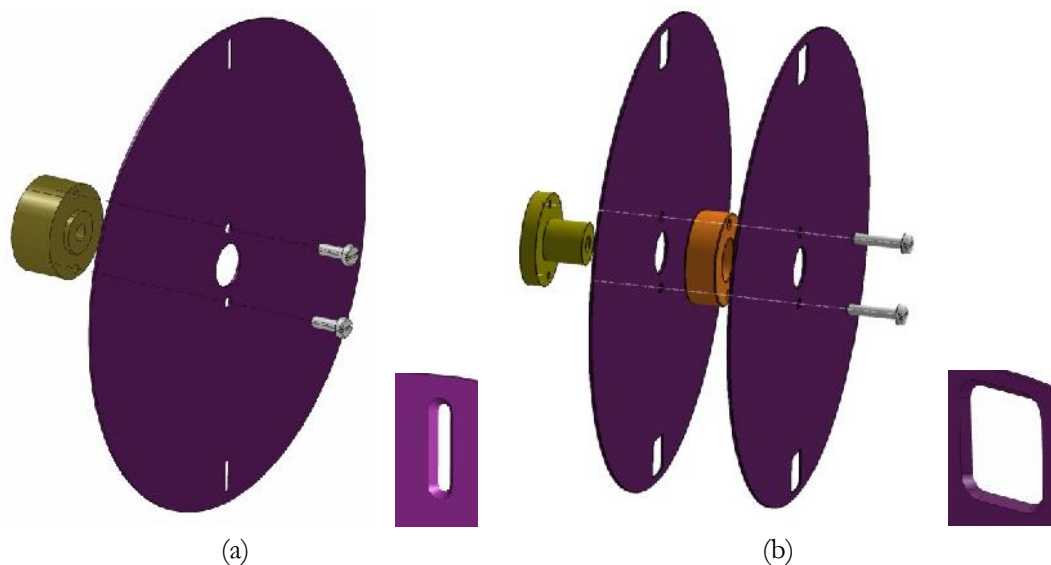
Pulsgenerator samenstelling

In figuur 7.2.a is de samenstelling te zien van de ophanging van de chopperdisk pulsgenerator. De samenstelling bestaat uit een schijf, een naaf en twee schroeven.

- De naaf wordt met een perspassing op de motoras geperst. Aan de kopse kant er nog een extra laserlas om de naaf te fixeren.
- De schijf zal met een perspassing op de naaf worden geperst en met twee schroeven aan de naaf worden bevestigd.

Selector samenstelling

De samenstelling van ophanging chopperdisks selector is afgebeeld in figuur 7.2.b. De samenstelling verschilt van de pulsgenerator door de dubbele chopperdisk en de afstandsring tussen deze chopperdisks. Ook hier worden er perspassingen gebruikt en een laserlas.



Figuur 7.2. Samenstelling chopperdisk pulsgenerator (a) en samenstelling chopperdisks selector. In de rechteronderhoek is de grootte van de openingen van respectiefelijk de pulsgenerator en selector te zien.

7.2.6 Rotatie φ_z

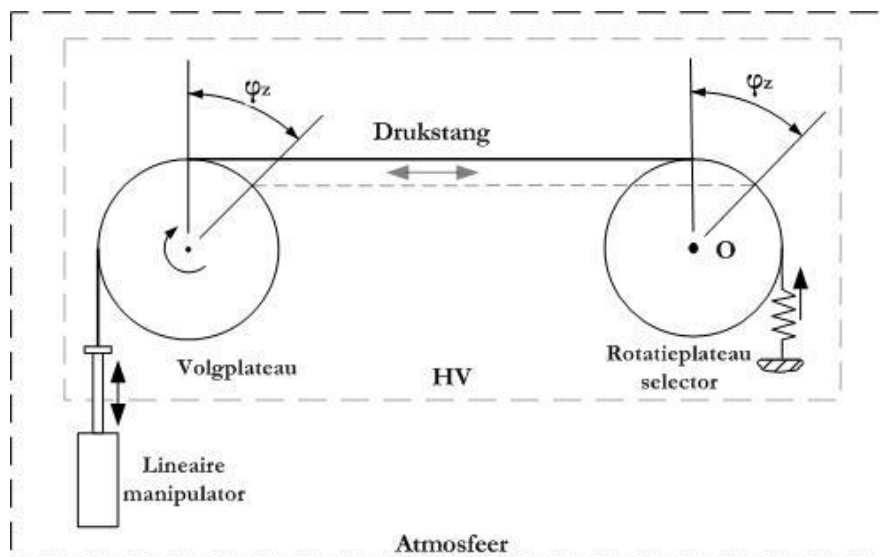
Voor de instelbaarheid van de openingsbreedte zal de selector op een draaiplateau dienen te staan die de rotatie φ_z mogelijk maakt. De rotatieas van punt O ligt hierbij in het midden van de twee chopperdisks. Hierdoor is de hoekverstelling (φ_z) van chopperdisk 1 en 2 gelijk t.o.v. punt O. De verstelling is draai symmetrisch. Dit geeft de grootste mogelijke instelbereik voor φ_z . Dit grote instelbereik heeft tot gevolg dat per graad hoekverdraaiing de openingsbreedte minder snel afneemt dan bij een minder groot

instelbereik. Hierdoor is de openingsbreedte beter beheersbaar. De verstelling van de rotatie φ_z kan op twee manieren gebeuren: elektrisch of mechanisch.

Mechanische verstelling heeft hierbij de voorkeur gekregen, omdat de componenten vacuüm compatible dienen te zijn en de voorkeur uit gaat naar een verstelmogelijkheid buiten de vacuümkamer.

Zoals beschreven dienen eventuele doorvoeringen, aansluitingen en connecties van de selector geleid te worden naar de nieuwe ontworpen kamer. De manipulatie van φ_z zal doorgeleid dienen te worden naar het nieuw ontworpen deel. In dit gedeelte kan een doorvoer naar de atmosfeer gerealiseerd worden.

Deze verstelling wordt gerealiseerd door een lineaire manipulator (atmosfeer) (bijlage 4). De stift van deze lineaire manipulator drukt tegen een stangenstelsel aan. Dit stangenstelsel leidt de verstelling door naar het draaiplateau van de selector, waar het een rotatiebeweging maakt om zijn rotatiepunt O. De speling in het systeem zal een kant op gedrukt worden door een veer die zorgt dat het stangenstelsel tegen de stift van de manipulator aangedrukt wordt, schematische weergave in figuur 7.3.



Figuur 7.3. Schematische weergave rotatiemechanisme φ_z , bovenaanzicht.

Drukstang

De drukstang zal bestaan uit twee delen. Dit is gedaan omdat de doorvoer in het nieuwe gedeelte plaatsvindt. Dit gedeelte wordt door een flensverbinding met vacuümkamer II verbonden. Eén van de eisen was dat de opstelling eenvoudig (de)monteerbaar dient te zijn. De drukstang bestaat uit twee delen. Eén deel vast aan het rotatieplateau selector en een deel aan het volgplateau, welke zich in de nieuwe kamer bevindt. Bij demontage van de kamers zal de drukstang uit elkaar vallen. Bij montage dient er voor gezorgd te worden dat de twee delen weer in elkaar bevestigd worden, zodat hoekverstelling van rotatie φ_z weer tot de mogelijkheden behoort.



Figuur 7.4. Drukstang

Lagering

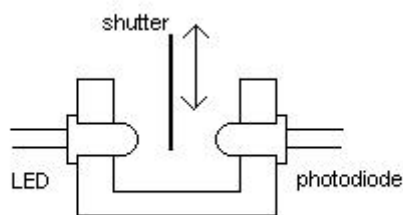
De rotatiebeweging dient gelagerd te worden. Hierbij is gekozen voor een glijlager. Dit vanwege de compacte bouw, die hierbij mogelijk is. De rotatieas zal gemaakt worden van koperaluminium en het lagerhuis van roestvast staal. Koperaluminium wordt vaker in de vacuümtechniek gebruikt als vervanging voor brons, wat niet toepasbaar is, i.v.m. de dampdruk van (legeringselement) zink.

Veer

De veer in het rotatiemechanisme heeft twee functies. Ten eerste zorgt de veer ervoor dat bij het terugdraaien van de lineaire manipulator het rotatieplateau meebeweegt. Ten tweede zorgt het ervoor dat de speling in het mechanisme een kant op wordt gedrukt. De veerkracht dient hierbij de wrijvingskracht van het lager te overwinnen. Zie voor de veerberekening bijlage 2.

Meetsysteem

De openingsbreedte is instelbaar door de rotatie φ_z . Om de breedte van de opening te meten/controleren wordt er gebruik gemaakt van een optische sensor. Deze sensor bestaat uit een lichtbron (LED) en een detector (fotodiode of fototransistor), figuur 7.5. Deze worden tegenover elkaar gepositioneerd. De lichtweg kan geblokkeerd worden door een shutter, in dit geval de schijven van de selector. Door de sensor op de zelfde hoogte te plaatsen als de openingen in de schijven zal door de rotatie van de schijven de lichtweg niet meer versperd worden als de openingen de sensor passeren. De tijd dat de lichtweg niet versperd wordt kan geconverteerd worden tot een bepaalde openingsbreedte.



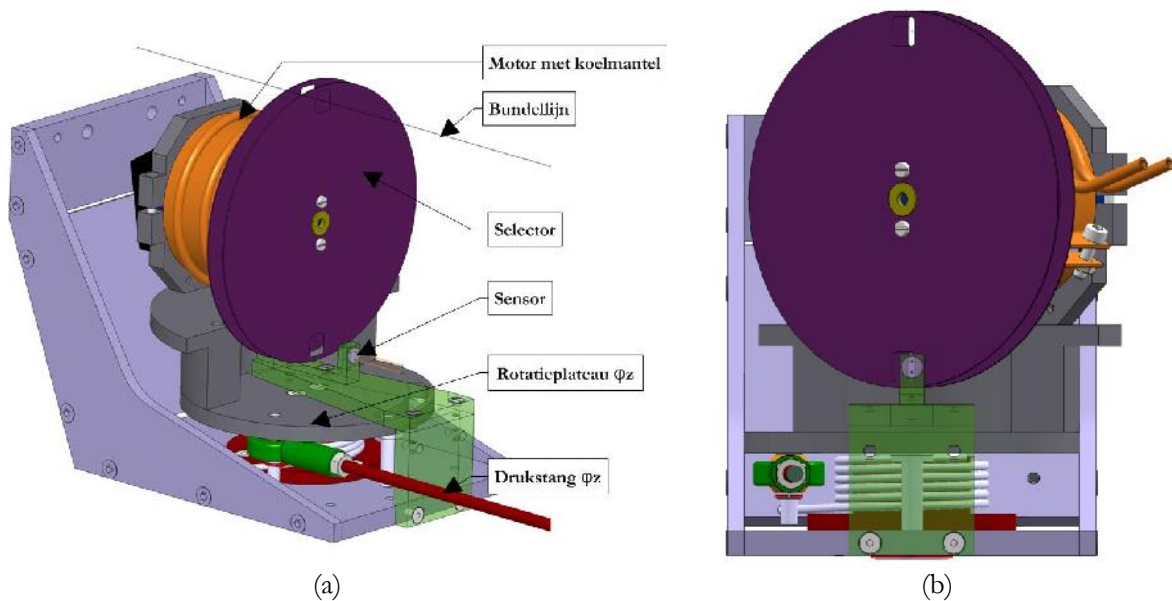
Figuur 7.5. Optische sensor [10]

De positie van de sensor is zo gekozen dat wanneer de bundel een van de openingen passeert de andere opening de sensor passeert. De sensor zal dus in lijn staan met de bundel, maar met een verticale offset.

Samenstelling Selector

De samenstelling van de selector met meetsysteem en rotatieplateau is te zien in figuur 7.6. Een isometrisch aanzicht (a) en een vooraanzicht wanneer de selector onder een

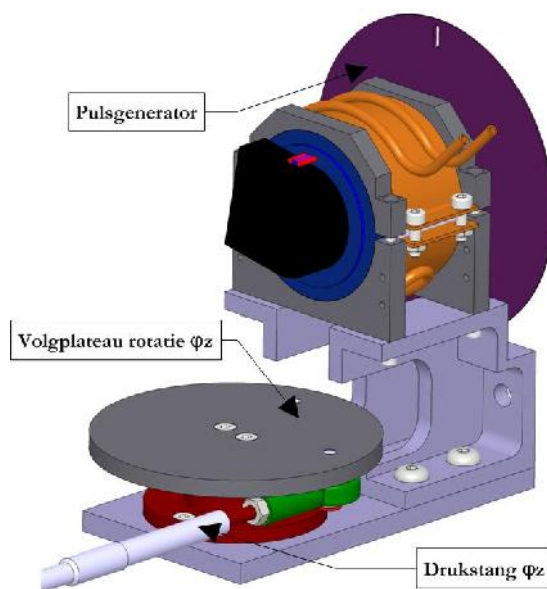
hoek staat (de openingsbreedte kan worden verkleind)(b). De werkelijke openingsbreedte van de selector is beschreven in bijlage 1.



Figuur 7.6. (a) Isometrische aanzicht selector en (b) vooraanzicht

Samenstelling pulsgenerator

De samenstelling van de pulsgenerator wordt afgebeeld in figuur 7.7. Hierbij is ook het volgplateau te zien voor ϕ_z .



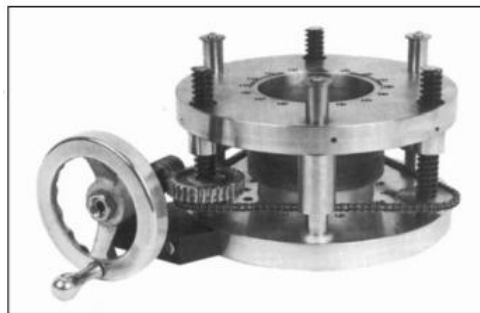
Figuur 7.7. Samenstelling pulsgenerator

7.2.7 Afstand instelbaar tussen cascaded arc en skimmer I

Het translatiemechanisme dient de positie van de cascaded arc verstelbaar te maken. De cascaded arc is bevestigd aan de bronbuis. De buis zorgt voor de scheiding tussen

atmosfeer en het vacuüm uit kamer I. Door het drukverschil ontstaat er een drukbelasting. Deze drukbelasting zal er voor zorgen dat de bronbuis in de richting van de eerste kamer wordt getrokken. Deze belasting zal bij het vergroten van de afstand tussen de cascaded arc en skimmer I tegenwerken en dient overwonnen te worden. Bij het verkleinen van de onderlinge afstand zal de kracht meewerken.

Voor de translatiebeweging wordt er een “ECT jacking stage” gebruikt. Een ECT jacking stage bestaat uit twee flensen die met elkaar verbonden worden door een balg. Balgen worden gebruikt voor translatiebeweging tussen atmosfeer en vacuüm zonder dat er een doorvoer nodig is. Een balg kan gezien worden als een pakket schotelveren die opgerekt/gecomprimeerd kunnen worden. Voor het oprekken van de balg wordt er gebruik gemaakt van een worm-wormwiel overbrenging. Door de gunstige overbrengingsverhouding van worm-wormwielen zal de drukbelasting als gevolg van het drukverschil overwonnen kunnen worden.



Figuur 7.8. ECT-jacking stage [11]

De flens aan de onderkant van figuur 7.8 zal aan de eerste vacuümkamer worden verbonden. De bovenflens zal aan de bronbuis bevestigd worden. Door verdraaiing van het handwiel zal de afstand tussen de beide flensen gemanipuleerd worden wat direct resulteert in een verplaatsing van de cascaded arc ten opzichte van skimmer I.

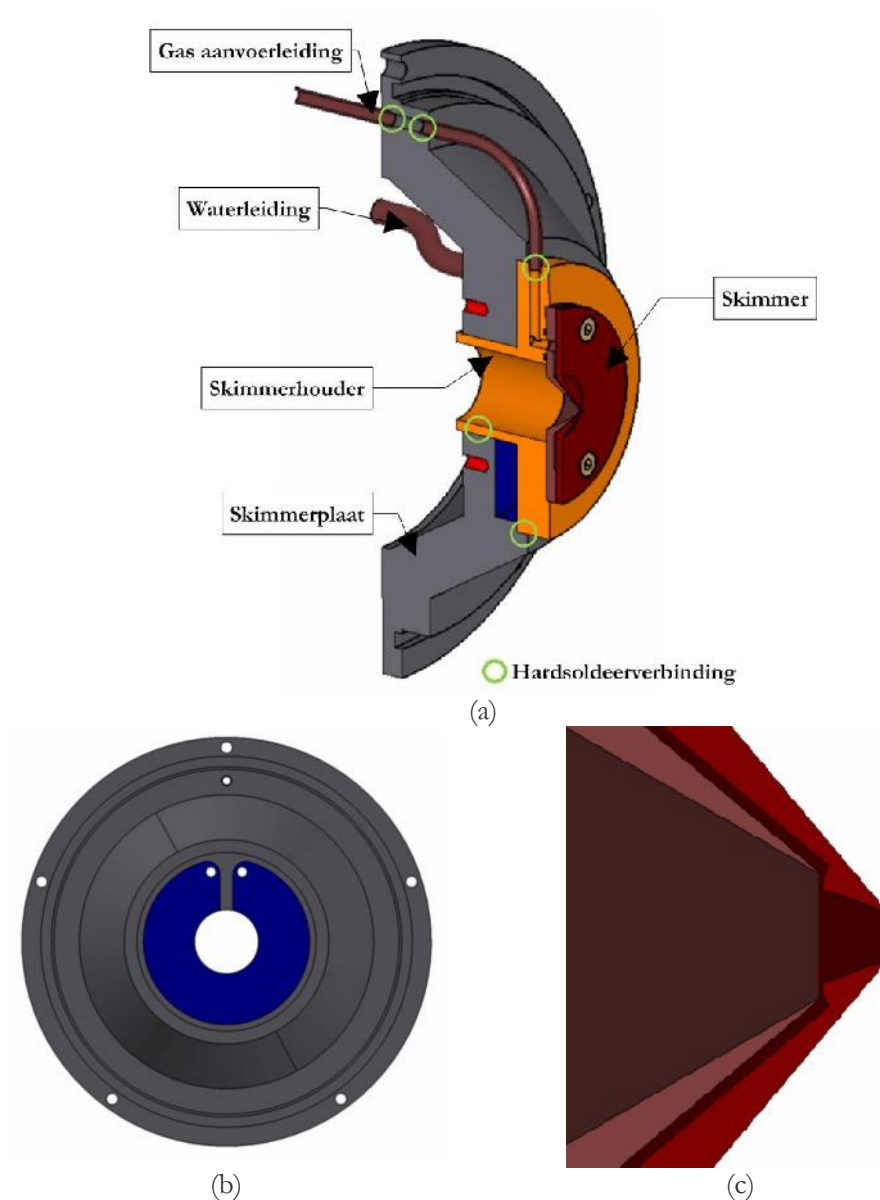
7.2.8 Skimmer I

De eisen die gesteld worden aan de skimmer zijn beschreven in paragraaf 6.4. In bijlage 5 is een werktekening van de skimmer te zien die in de huidige configuratie gebruikt wordt. Deze skimmer heeft de basis gevormd voor het nieuwe ontwerp.

In figuur 7.9 wordt het nieuwe ontwerp getoond van skimmer I. Via de bovenste leiding kan er reactief gas worden aangevoerd dat uitmond in de tip van de skimmer. De tip van de skimmer is beter zichtbaar in figuur 7.9.c. Hierin is te zien dat de uitmonding van de skimmer zo dicht mogelijk bij de tip van de skimmer ligt en in de richting van het proefstukoppervlak spuit. Ook duidelijk hierin is de tapse vorm van de skimmer. Hierdoor worden de eigenschappen van de bundel niet verstoord.

De skimmer wordt indirect gekoeld. In afbeelding 7.9.b. is een blauwe kamer zichtbaar. Dit is de kamer waar koelwater doorheen loopt. Dit koelwater wordt aan- en afgevoerd via leidingen die uitmonden in de achterkant. De gaten voor de aan- en afvoer van het koelwater zijn zichtbaar in afbeelding 7.9.b. De tussenwand hierin zorgt ervoor dat het water maar een kant op kan stromen.

De skimmerhouder (oranje) zal door (rondom) hardsolderen aan de skimmerplaat worden gesoldeerd. Deze soldering zal zorgen voor een afdichting waardoor er geen lekkage van koelwater mogelijk is.



Figuur 7.9. Samenstelling skimmer I (a), skimmerplaat (b) en doorsnede van skimmertip (c)

Materialen

De skimmer en skimmerhouder zijn gemaakt van koper, vanwege de goede warmtegeleidende eigenschappen. Dit geldt ook voor de leidingen. De leidingen zullen bij de samenstelling door middel van hardsolderen een vaste verbinding vormen met de

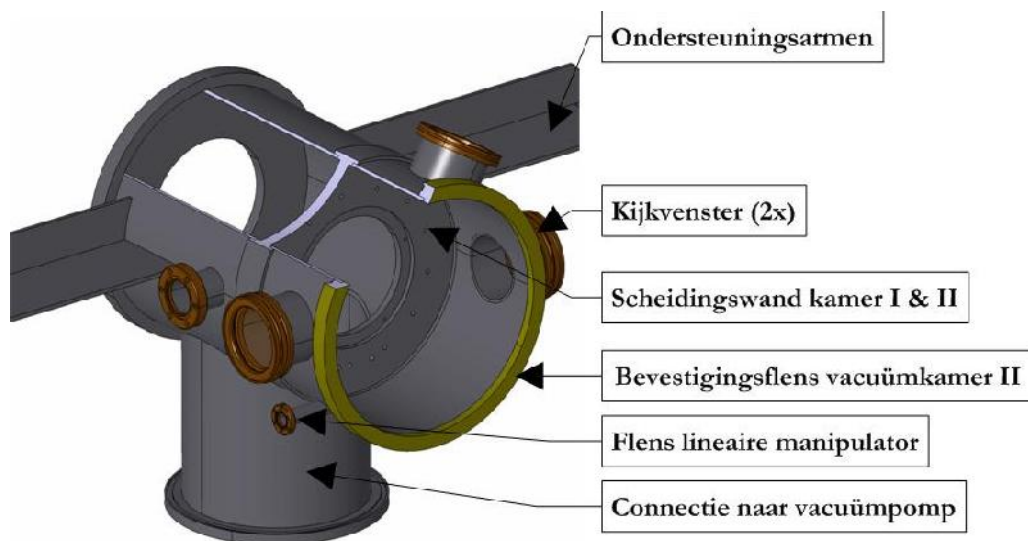
skimmerplaat en het grijze onderdeel. Het grijze onderdeel is gemaakt van roestvast staal. Dit onderdeel zal in de vacuümkamer I bevestigd worden door de aanwezige bevestigingsgaten aan de buitendiameter afgebeeld in figuur 7.9.b. Het zal de scheidingswand vormen tussen vacuümkamer I en II.

7.2.9 Vacuümkamer I en bronbuis

Vanwege de aanpassingen in skimmer I, translatiemechanisme en afstand die gecreëerd moet worden tussen de pulsgenerator en de selector, is er een nieuw ontwerp gemaakt voor vacuümkamer I en bronbuis.

Vacuümkamer I

Het ontwerp van vacuümkamer I bestaat uit twee delen. Een deel bestaat uit de verlening van vacuümkamer II. Dit gedeelte wordt ook door de vacuümpomp van kamer II afgepompt. En een gedeelte dat door de vacuümpomp van kamer I wordt afgepompt. De twee delen zullen gescheiden worden door een wand. In deze wand zal een opening komen waarin de samenstelling van skimmer I geplaatst kan worden (figuur 7.10). In het verleng gedeelte zullen vier doorvoeringen naar de atmosfeer gerealiseerd worden. Twee ervan zullen gebruikt worden voor de doorvoer van koeling, signaal en elektriciteit. De twee andere zullen gebruikt worden als kijkvenster. Tevens komt er een doorvoering voor de manipulatie φ_z .



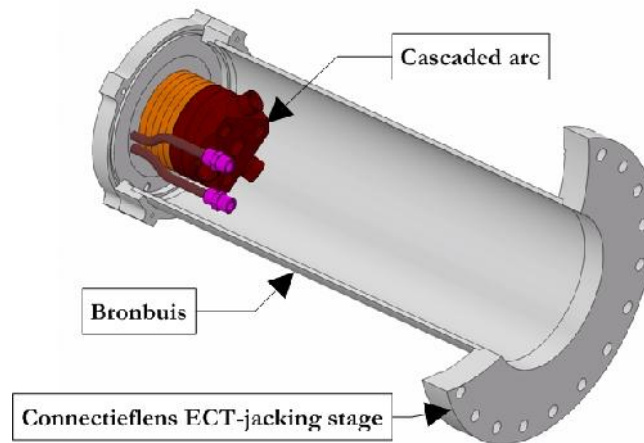
Figuur 7.10. Vacuümkamer I

In het gedeelte voor skimmer I, het gedeelte dat door vacuümpomp I wordt afgepompt, komen twee kijkvensters die recht tegen over elkaar komen te liggen in het horizontale vlak. Deze vensters geven de mogelijkheid tot Thomson scattering. Thomson scattering is een meetmethode om de temperatuur en de dichtheid van het plasma te meten [12]. Deze vensters dienen wel door een “windowshutter” te worden beschermd tegen depositie van het plasma. Gebeurt dit niet dan zal het zicht in de loop van de tijd

verdwijnen, door een opgedampte coating. Een demonteerbare flensverbinding zal de verbinding vormen tussen vacuümkamer I en II.

Bronbuis

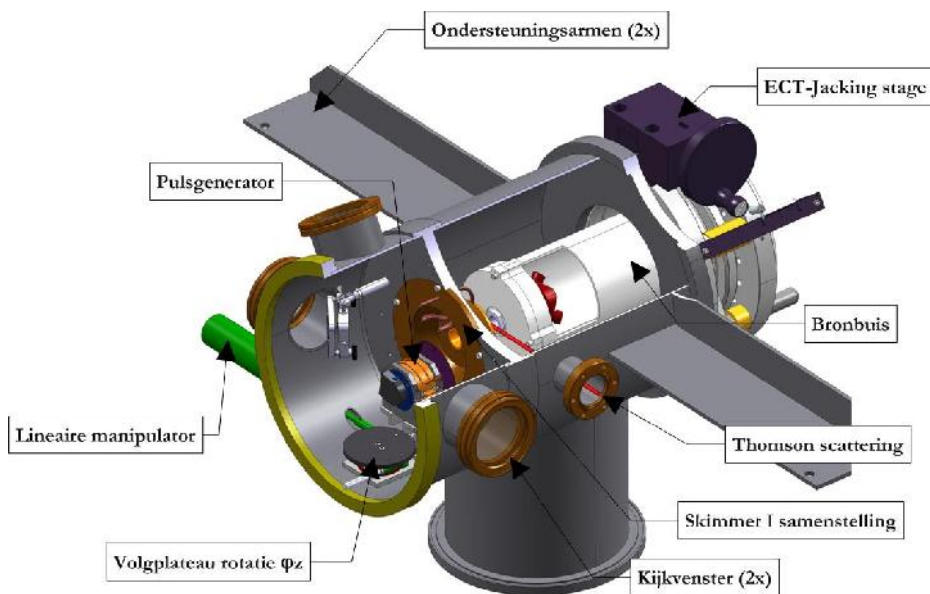
De bronbuis is vervangen om de verstelling tussen de cascaded arc en skimmer I mogelijk te maken. Het ontwerp wordt getoond in figuur 7.11.



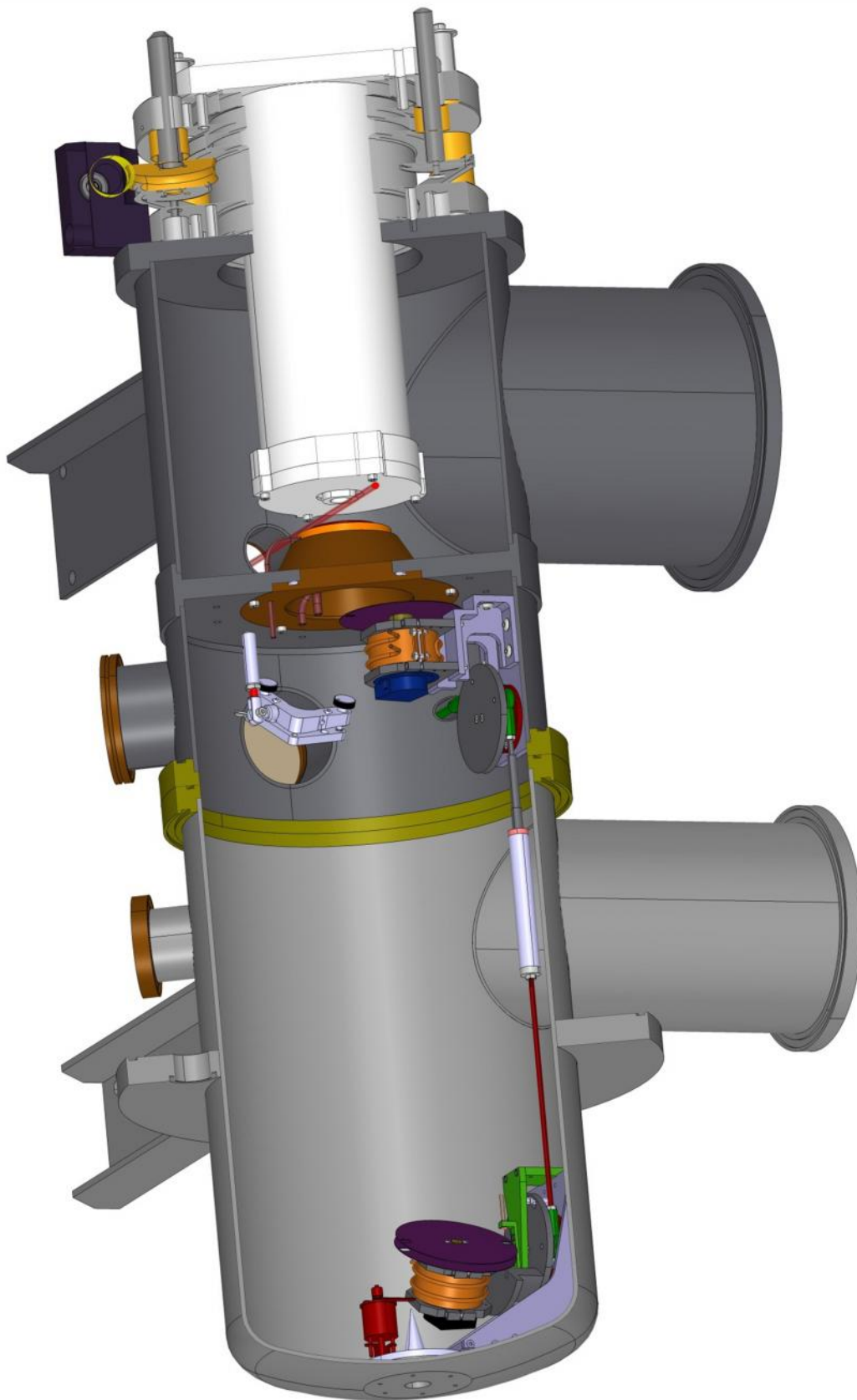
Figuur 7.11. Bronbuis samenstelling

Nieuwe configuratie differentieel gepompte bundellijn

In figuur 7.12 wordt de samenstelling van vacuümkamer I getoond. Daarnaast wordt in figuur 7.13 de nieuwe configuratie, differentieel gepompte bundellijn getoond.



Figuur 7.12. Samenstelling van vacuümkamer I



Figuur 7.13. Nieuwe configuratie differentieel gepompte bundellijn.

8 Eindproduct

8.1 Resultaat

Er is een ontwerp gerealiseerd dat er voor moet zorgen dat er een beter inzicht verkregen wordt in het karakteriseren van het gas- interactieproces van deeltjes met een proefstukoppervlak. Deze gas-oppervlakte interacties worden gedaan met een gepulste bundel. De puls frequentie van 400 Hz in de huidige configuratie is verhoogd naar een puls frequentie van 1000 Hz. Er is onderzocht hoe deze puls frequentie het best haalbaar is. Daarnaast is er onderzocht welke parameters er belangrijk zijn om vanuit deze gepulste bundel, bestaande uit deeltjes met verschillende kinetische energieën, een selectie in energie te maken. De brede energiegebied van 1-10 eV geproduceerd door de cascaded arc plasma source, is in het nieuwe ontwerp verkleind tot een energieverspreiding van 1 eV in het gebied van 1-7 eV. De selectie is hierbij gebaseerd op de onderlinge verschillen van de deeltjes. Door de kleinere energieverspreiding zal de interpretatie van de verkregen data uit de experimenten verbeterd worden. De selectie van kinetische energie is tijdens gebruik in- en verstelbaar.

Daarnaast is er een nieuw ontwerp gemaakt voor skimmer I. Deze skimmer is voorzien van een toevoerkanaal dat het mogelijk maakt dat de toepasbare moleculaire bundelgassen in de bundellijn worden uitgebreid.

Verder kan de afstand tussen skimmer I en de cascaded arc versteld worden zodat de eigenschappen van de plasmabundel beïnvloed kunnen worden. De verstelling wordt gerealiseerd door een translatiemechanisme.

Skimmer I en het translatiemechanisme zijn aangepast. De aanpassingen hebben er toe geleid dat er een nieuw ontwerp is gerealiseerd voor vacuümkamer I en de bronbuis. Het ontwerp is vastgelegd en gevisualiseerd met behulp van een CAD programma, Catia V5. In tabel 8.1 worden de specificaties getoond van het ontwerp.

Tabel 8.1: Specificaties ontwerp	
Omschrijving	Waarde
Prestatie	
Kinetische energie selectie*	≤ 1 eV in het segment van 1-7 eV
In- en verstelling tijdens bedrijf	Ja
Puls frequentie	0 - 2000 [Hz]
Instelbare afstand tussen cascaded arc en skimmer I	Instelbereik 6 inch (152 mm)
Gebruik reactieve brongassen mogelijk	Ja
Omgeving	
Hoog vacuüm compatible	$<10^{-5}$ Pa
Onderhoud	
Smeermiddelen	Nee
Onderhoud	Nee
Montage	

Modulair opgebouwd	Ja
Eenvoudig (de) monteerbaar	Ja
*Bij het gebruik van de brongassen Argon en (moleculair) stikstof	

Ook is er in het nieuwe ontwerp een uitbreiding van de toepasbare moleculaire bundelgassen in de bundellijn. Echter zonder dat deze moleculaire bundelgassen een negatieve invloed hebben op de prestaties van de opstelling.

8.2 Evaluatie

Het eindproduct voldoet aan de wensen van de opdrachtgever. Het hoofddoel was om een puls te produceren die een beter gedefinieerde energiedistributie (smaller energiegebied) heeft. Het nieuwe ontwerp maakt dit mogelijk. Dit moet leiden tot een betere karakterisering van de gas-oppervlakte interacties van verschillende energiegebieden. Het tweede doel, het uitbreiden van de toepasbare moleculaire bundelgassen in de bundellijn, is gerealiseerd door een nieuw ontwerp van skimmer I. Deze skimmer I heeft een toevoerkanaal dat de aanvoer van reactieve gassen in de bundellijn mogelijk maakt, zonder dat deze gassen de prestatie van de opstelling nadelig beïnvloeden.

Het ontwerp is zoveel mogelijk modulair opgebouwd, wat eventueel aanpassingen, verbeteringen, reiniging en (de)montage van het deelsysteem eenvoudig moet houden. Er is goed opgelet dat er geen kabels en connecties stuk kunnen gaan bij montage. Er lopen dan ook geen kabels van vacuümkamer I naar II. De enige connectie die er is van kamer I naar II is de drukstang voor de manipulatie van φ_z . Echter deze bestaat uit twee delen die bij demontage uit elkaar vallen.

(De)montage van skimmer I is ten opzichte van de huidige opstelling lastiger. (De)montage van de skimmer zal niet vaak voorkomen.

Er is nog wel een wens met betrekking tot de bereikbaarheid en (de)montage van de cascaded arc. Deze (de)montage kan nu alleen nog via de kopse kant. Hiervoor dient de bronbuis in zijn geheel los gekoppeld te worden. Door de bevestiging van de cascaded arc aan te bronbuis aan te passen kan dit voorkomen worden.

8.3 Conclusie

Door de wekelijkse besprekingen met de opdrachtgever is er een ontwerp gerealiseerd dat in voldoet aan de wensen van de opdrachtgever. In het ontwerp is een concept uitgewerkt dat de mogelijkheid biedt om vanuit de gecreëerde puls met een energiegebied van 1-10 eV een selectie te kunnen maken van 1 eV in het energiegebied van 1-7 eV. Deze selectie is gebaseerd op de brongassen Argon en (moleculair) stikstof en is tijdens bedrijf instelbaar. Daarnaast is de puls frequentie verhoog tot 1000 Hz. Ook is er een nieuw ontwerp voor skimmer I. Dit maakt de uitbreiding van (reactieve) moleculaire gassen in de bundellijn mogelijk.

Er is hierbij een translatiemechanisme toegevoegd om horizontale translatiebeweging van de bronbuis mogelijk te maken. Dit geeft de mogelijkheid om de afstand tussen de cascaded arc en skimmer I te manipuleren.

Het ontwerp is vastgelegd met behulp van Catia V5, en zal de basis vormen voor eventuele modificatie ten aanzien van overige wensen.

8.4 Aanbeveling

- De wens implementeren met betrekking tot de bereikbaarheid en (de)montage van de cascaded arc.
- Wanneer het constructiegedeelte afgerond is, de motoren met aansturing te kopen en hiermee testen te gaan uitvoeren. Hoe nauwkeurig is de aansturing? Zijn de opgegeven specificaties valide? Zo niet, wat is de afwijking en is dit goed genoeg?
- Motorsamenstelling (motor en chopperdisk(s)) op maximaal toerental testen.
- Indien de uitkomsten van bovenstaande punten naar wens zijn kunnen van het ontwerp werktekeningen worden gemaakt en kan de fabricage van onderdelen starten.

9 Proces en planning

9.1 Projectaanpak

Projectmethodiek

Het project is aangepakt volgens het driefasen-ontwerpproces. Deze fases zijn: probleem definiëring, werkwijze bepaling en vormgevende fase.

Urenverantwoording/weekplanning

Urenverantwoording is bijgehouden met behulp van een weekstaat. Deze weekstaat wordt intern gebruikt om de uren door te rekenen van het project of onderzoeksgroep. Op deze weekstaat wordt de omschrijving van een taak of activiteit beschreven en de uren geregistreerd die hieraan zijn verbonden.

Strokenplanning

De strokenplanning is gemaakt met Microsoft Excel.

Kostenverantwoording

De manuren die aan het project worden besteed worden intern verrekend aan de desbetreffende onderzoeksgroep. Dit geldt ook voor het materiaal en de onderdelen, die nodig zijn om het ontwerp te realiseren.

9.2 Strokenplanning

Voor de strokenplanning van het project, zie bijlage 6.

9.3 Calculatie uren en kosten

Zoals boven vermeld is, is de urenverantwoording bijgehouden doormiddel van een weekstaat. Hier volgen de uren gemaakt op het FOM-Rijnhuizen gedurende de afstudeerperiode.

FOM-Rijnhuizen:

- 28 augustus 2011 - 10 januari 2012
- 8 uur per dag – 5 dagen per week
- Totaal 97 dagen, 776 uur.

Nazorg, archiveren, presentatie en voorbereiding.

- 11 januari 2012 – 24 januari 2012
- 11 dagen a 8 uur. Totaal 88 uur.

Materiaalkosten

De materiaalkosten die nodig zijn om het ontwerp te realiseren, zijn op dit moment nog niet bekend. De kosten voor de kopondelen worden getoond in tabel 9.1. Hierin worden onderdelen die standaard in het instituut aanwezig zijn niet getoond.

Tabel 9.1: Kosten kopondelen

Omschrijving	Typenummer	Aantal	Prijs (€)	Totaal (€)
Slotless Brushless DC motor	48H2575V/A5 1.9"	2	620,-	1240
Hall sensor motor drive	H24V5A-2	2	100,-	200
Jacking stage	ECT- 5.75-2/3LS-8	1	5489,-	5489
Stangkop	TFR5 M5x0,8	2	20,-	40
Totaal				6969

9.4 Projectevaluatie

Het ontwerp is via het drie stappenmodel vormgegeven. Dit stappenmodel wordt in de opleiding gebruikt en aangeleerd. Voor dit project is dit een goede ontwerpmethode gebleken.

Als er naar het gehele ontwerpproces en de planning wordt gekeken, valt op dat er veel eerder is begonnen dan verwacht met het maken van een 3D model. In de praktijk blijkt dat dit handig is om een visualisatie te realiseren van een concept of idee. Dit vergemakkelijkt besprekingen met de opdrachtgever en de uitleg.

Verder zijn de grenzen tussen de drie stappen niet altijd direct van elkaar te onderscheiden. Er is gebleken dat er regelmatig overlap is tussen de drie fases.

10 Reflectie

10.1 Reflectie technische competenties

Het profiel van Hoger Beroeps Onderwijs (HBO)- Bachelor of Engineering is gebaseerd op de vier fasen van bewust handelen en bestaat uit de volgende vier generieke competenties [13]:

1. Inzicht krijgen in de opdracht: de opdracht en probleemstelling, zoals beschreven door de opdrachtgever, zijn door mij geanalyseerd en uit eindelijk uitgewerkt tot ontwerpparameters binnen de tijd die hiervoor staat.
2. Ontwerpen van het product: er is een goed product ontworpen dat voldoet aan de eisen van de opdrachtgever. Echter bij het bedenken van concepten en oplossingen is er ruimte voor verbetering en persoonlijke groei. Dit is een verbeterpunt voor de toekomst.
3. Plannen van de uitvoering: de complete planning is goed in de gaten gehouden. Het plannen op korte termijn en het faseren op weekbasis is minder goed gedaan. Het vastleggen van deze processtappen en het faseren van de verschillende taken kan in de toekomst verbeterd worden.
4. Zelfstandig uitvoeren: de taken zijn door mij goed uitgevoerd en indien noodzakelijk heb ik hulp gevraagd.

10.2 Reflectie professionele competenties

In de afgelopen afstudeerperiode heb ik veel geleerd. Het zelfstandig uitvoeren van de opdracht, adviezen op te volgen en goed te luisteren naar kritiek en hieruit te leren. Ik neem hierbij een open houding aan en probeer van alle collega's te leren. Ik verantwoordt keuzes en neem hiervoor de verantwoordelijkheid. Hierin is nog wel ruimte voor persoonlijke groei.

10.3 Profielschets

Ik zie mogelijkheden in persoonlijke groei in het uitbreiden van zowel technische- als professionele competenties. Verbeterpunten zijn: planning, procesmatig werken, keuzes maken en creativiteit. De samenwerking en omgang binnen het team zijn goed. Persoonlijk heb ik een open houding en kan ik mij snel aanpassen aan de omgeving. Ik kan mijn verantwoordelijkheden nemen en indien nodig hulp vragen.

Afkortingen

amu	atomaire massa eenheid
CVD	Chemical Vapour Deposition
DRS	Direct Recoil Spectroscopy
FOM	Fundamenteel Onderzoek der Materie
GUTHz	Generation and Utilization of TeraHertz radiation
HBO	Hoger Beroeps Onderwijs
HU	Hogeschool Utrecht
HV	Hoog Vacuüm
IPD	Integrated Product Development
LEIS	Low Energy Ion Scattering
nSI	nanolayer Surface and Interface physics
PSI	Plasma Surface Interactions
QMS	Quadrupole Mass Spectrometer
SIPC	Surface Ion - & Photochemistry
UHV	Ultra Hoog Vacuüm

Bronnen

- [1] FOM (n.d.). *FOM in een notendop*. Geraadpleegd op 2 januari 2012 via http://www.fom.nl/live/overfom/fom_notendop.pag
- [2] Universiteit Leiden (n.d.). *Chapter 1*. Geraadpleegd op 20 oktober 2011 via <https://openaccess.leidenuniv.nl/bitstream/handle/1887/16153/01.pdf?sequence=11>
- [3] Universiteit Leiden (2006). *Chapter 2*. Geraadpleegd op 20 oktober 2011 via <https://openaccess.leidenuniv.nl/bitstream/handle/1887/11007/02.pdf?sequence=6>
- [4] Vankan, P., Engeln, R., Schram, D. (2004). Schokkende plasma's. Nederlands Tijdschrift voor Natuurkunde, 356-359. Geraadpleegd via http://web.phys.tue.nl/fileadmin/tn/de_faculteit/capaciteitsgroepen/PS/ETP/images/Publications/NTvN_70-11_p356-359.pdf
- [5] Beam Dynamics. Inc. (n.d.). Geraadpleegd op 8 januari 2012 via <http://www.beamdynamicsinc.com/>
- [6] Lifetime reliability Solutions (n.d.). *Rotating Machinery Rotor Balancing*. Geraadpleegd 8 januari 2012 via http://www.lifetime-reliability.com/free-articles/precision-maintenance/Rotating_Machinery_Rotor_Balancing.pdf
- [7] IRD Balancing (2009). *Balance Quality Requirements of Rigid Rotors*. Geraadpleegd 8 januari 2012 via <http://www.irdbalancing.com/downloads/TechPaper1BalQualityReqmts.pdf>
- [8] Solid Mechanics dynamics tutorial- tutorial centripetal force (n.d.). *Stress and strain in rotating bodies* (2). Geraadpleegd 8 januari 2012 via <http://www.freestudy.co.uk/dynamics/centripetal%20force.pdf>
- [9] Alu matters (n.d.). *Vergelijking van eigenschappen*. Geraadpleegd 8 januari 2012 via <http://aluminium.matter.org.uk/content/html/DUT/default.asp?catid=151&pageid=2144416671>
- [10] Pykett, C. (2005). *The Evolution of Electric Actions*. Geraadpleegd 8 januari 2012 via http://www.pykett.org.uk/the_evolution_of_electric_actions.htm
- [11] Hositrade Holland b.v. (n.d.). *Vacuüm manipulators*. Geraadpleegd 8 januari 2012 via <http://www.hositrade.com/vacuum-products/vacuum-manipulators/>
- [12] Kempenaars, M. (2005) VENI. To fusion and not to fission. Geraadpleegd via <http://www.phys.tue.nl/VENI/veniblad/2005-1.pdf>. 12 (1) .9-13.
- [13] Werkgroep Bachelor of engineering (2006). *Profiel van de bachelor of engineering*. Geraadpleegd 8 januari 2012 via [https://intranet.sharepoint.hu.nl/FNT/info/IED_afstuderen/Afstudeerdocumenten/2\)%202011%20-%20najaar/Document%20Profiel%20Bachelor%20of%20Engineering.pdf](https://intranet.sharepoint.hu.nl/FNT/info/IED_afstuderen/Afstudeerdocumenten/2)%202011%20-%20najaar/Document%20Profiel%20Bachelor%20of%20Engineering.pdf)
- Wolterbreek Muller, L. (1989). *Vacuüm techniek: Beginselen en toepassingen* (1^e dr.). Deventer: Kluwer Technische Boeken B.V.
- Hall, S. Holewenko & R. Laughlin (1980). *Schaum's outline of theory and problems of machine design*. MCGraw-Hill book company.

Bijlage

Bijlage 1: Tijdcalculatie / openingsbreedte selector

De afstand in het ontwerp is uitgekomen op 0.47 m. Er is in de analyse aangenomen dat de afstand 0.5 meter is. In tabel A.1 worden de nieuwe tijden per energie aangegeven. In tabel A.2 wordt de openingstijd van de selector berekend. Uit deze openingstijd kan de openingsbreedte van de selector worden berekend (tabel A.3). Hierbij bevinden de openingen zich op een straal van 40 mm.

Input:

- ω : 500 Hz.
- Afstand 0.47 m
- Straal van de opening ten opzichte rotatieas: 40 mm.

Tabel A.1: Tijdcalculatie per energie voor een afstand van 0.47 m

E [eV]	N		N ₂		Ar	
	v [m/s]	t [μ s]	v [m/s]	t [μ s]	v [m/s]	t [μ s]
1	3712	127	2625	179	2196	214
2	5249	90	3712	127	3106	151
3	6429	73	4546	103	3804	124
4	7424	63	5249	90	4392	107
5	8300	57	5869	80	4910	96
6	9092	52	6429	73	5379	87
7	9821	48	6944	68	5810	81

Tabel A.2: Openingstijden selector bij rotatiefrequentie van 500 Hz

E [eV]	N	N ₂	Ar
	Δt [μ s]	Δt [μ s]	Δt [μ s]
1 - 2	37	52	63
2 - 3	16	23	28
3 - 4	10	14	17
4 - 5	7	9	11
5 - 6	5	7	8
6 - 7	4	5	6

Tabel A.3: Openingsbreedte selector (a) bij 500 Hz en een afstand van 0.47 m

E [eV]	N		N ₂		Ar	
	Δt	a (mm)	Δt	a (mm)	Δt	a (mm)
1 - 2	37	4,66	52	6,59	63	7,88
2 - 3	16	2,06	23	2,92	28	3,49
3 - 4	10	1,23	14	1,74	17	2,08
4 - 5	7	0,84	9	1,19	11	1,42
5 - 6	5	0,62	7	0,88	8	1,05
6 - 7	4	0,49	5	0,69	6	0,81

Bijlage 2: Berekeningen / FEM-analyse

FEM-analyse chopperdisk pulsgenerator & selector

De chopperdisks ondervinden door de rotatie een centrifugaal kracht. Deze veroorzaakt spanning in het materiaal. Deze spanning in het materiaal dient niet groter te zijn dan de rekgrens om blijvende vervorming of breuk te voorkomen.

Voor een schijf met gelijkmatige dikte kunnen de materiaalspanningen als gevolg van de hoeksnelheid worden berekend met de formules B1.1 tot en met B1.4. Deze formules geven een eerste indicatie van de verwachte materiaalspanning.

De methode die gebruikt is:

1. De materiaalspanning is berekend van een uniforme schijf met een gelijkmatige dikte. De binnen- en buitendiameter zijn gelijk aan de maten van de chopperdisks gebruikt in het ontwerp.
2. Catia, V5 simulatie model gemaakt van een segment van de schijf. Door de symmetrie geeft dit een uitkomst die geldt voor de gehele schijf. Tevens zal bij het gebruik van een segment de rekentijd verkorten.
3. Controle of het gebruikte model in Catia, V5 een vergelijkbare waarde geeft als de uitkomsten uit stap 1.
4. Geeft het model overeenkomstige waarde, dan zal het model ook bruikbaar zijn met de gaten in de schijf en een goede benadering geven voor de spanningsconcentraties die door de gaten geïntroduceerd worden.

Voor een schijf met een gelijkmatige dikte is de spanning in radiale en tangentiële richting gelijk aan (Hall, S. Holewenko & R. Laughlin, 1980, p. 320.)

Radiale spanning als functie van r:

$$\sigma_r = \rho v^2 \left(\frac{\mu + 3}{8} \right) \left[1 + \left(\frac{r_i}{r_o} \right)^2 - \left(\frac{r}{r_o} \right)^2 - \left(\frac{r_i}{r} \right)^2 \right] \quad (\text{B1.1})$$

Tangentiële spanning als functie voor r:

$$\sigma_t = \rho v^2 \left(\frac{\mu + 3}{8} \right) \left[1 + \left(\frac{r_i}{r_o} \right)^2 - \left(\frac{3\mu + 1}{\mu + 3} \right) \left(\frac{r_i}{r_o} \right)^2 + \left(\frac{r_i}{r} \right)^2 \right] \quad (\text{B1.2})$$

Maximale radiale spanning is in $r = \sqrt{r_i r_o}$ is:

$$\sigma_{rmax} = \rho v^2 \left(\frac{\mu + 3}{8} \right) \left(1 - \frac{r_i}{r_o} \right)^2 \quad (B1.3)$$

Maximale tangentiële spanning is in $r = r_i$ is:

$$\sigma_{tmax} = \rho v^2 \left(\frac{\mu + 3}{4} \right) \left| 1 + \frac{1 - \mu}{\mu + 3} \left(\frac{r_i}{r_o} \right)^2 \right| \quad (B1.4)$$

σ_{rmax} = maximale radiale spanning in N/m²

σ_{tmax} = maximale tangentiële spanning in N/m²

ρ = dichtheid kg/m³

μ = poisson's getal

$v = \omega \cdot r_o$, omtreksnelheid m/s

r_i = radius gat

r_o = radius omtrek

r = variabele radius

Stap 1: Handberekening

Tabel B.1: Handberekening

Materiaal	Afmetingen:	Belasting:
Al 7075 T6 (Alclad) ρ : 2800 kg/m ³ μ : 0.3 [-]	$r_i = 4$ mm $r_o = 45$ mm	ω : 60000 omw/min
Tangentele spanning		
$\sigma_{tmax} = \rho v^2 \left(\frac{\mu + 3}{4} \right) \left 1 + \frac{1 - \mu}{\mu + 3} \left(\frac{r_i}{r_o} \right)^2 \right \quad (A1.4)$		
$2800 \frac{kg}{m^3} \cdot (6283 \left \frac{rad}{s} \right \cdot 0.045 [m])^2 \cdot \left(\frac{0.3 + 3}{4} \right) \left 1 + \frac{1 - 0.3}{0.3 + 3} \left(\frac{0.004[m]}{0.045[m]} \right)^2 \right $		
$\sigma_{tmax} = 185 [MPa]$		
Radiale spanning		
$\sigma_{rmax} = \rho v^2 \left(\frac{\mu + 3}{8} \right) \left(1 - \frac{r_i}{r_o} \right)^2 \quad (A1.3)$		
$\sigma_{rmax} = 2800 \left \frac{kg}{m^3} \right \cdot (6283 \left \frac{rad}{s} \right \cdot 0.045 [m])^2 \cdot \left(\frac{0.3 + 3}{8} \right) \left(1 - \frac{0.004[m]}{0.045[m]} \right)^2$		
$\sigma_{rmax} = 76.6 [MPa]$		

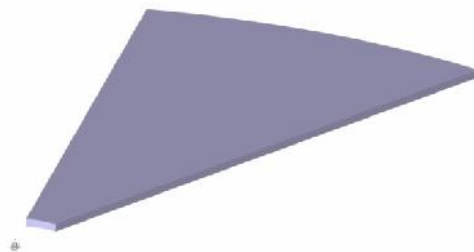
Stap 2: FEM-analyse model**Tabel B.2: Invoergegevens FEM-analyse Catia V5**

Omschrijving	Waarde
Materiaal parameters	
E-modules:	70000 MPa
P	2800 kg/m ³
Poisson getal	0.3 [-]
Rekgrens	414 MPa*
Belasting	
Constante hoeksnelheid (ω)	60000 omw/min
Boundary conditions	
Surface slider op de twee zijvlakken	Hiermee heeft het model de mogelijkheid om radiaal uit te zetten
Parameters schijf	
Inwendige diameter	8 mm
Uitwendige diameter	90 mm
Plaatdikte	0.5 mm
Mesh	
Afmeting	0.2 mm

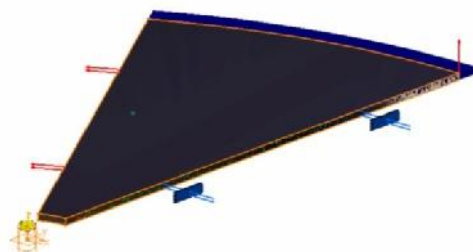
*bron: <http://www.matweb.com>

Het segment van de schijf wordt getoond in figuur B.1.a. Op dit model zijn aan de twee zijkanten een boundary condition (surface slider) geplaatst. Dit is te zien aan de blauwe en rode pijltjes in figuur B.1.b. Hierin is tevens het model en de uitzetting te zien als gevolg van de rotatiesnelheid. Dit wordt getoond door de blauwe rand. Deze uitrekking is sterk vergroot met een factor 75.

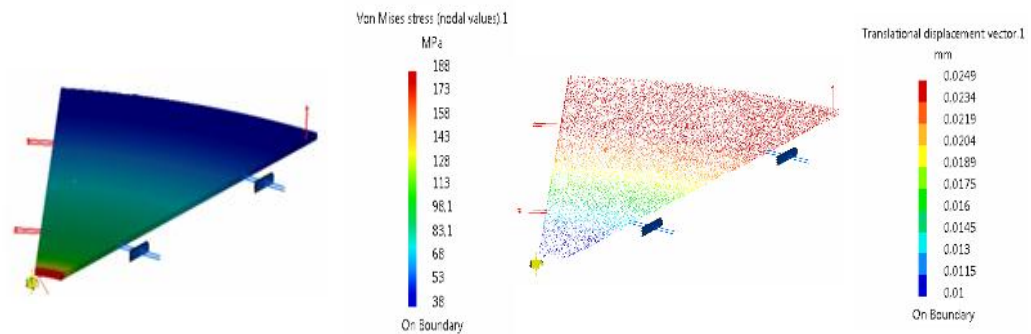
In afbeelding B.1.c is bij de constante hoeksnelheid van 60.000 omwentelingen per minuut een maximale von mises spanning te zien van 188 MPa. Deze spanning treedt op bij de binnendiameter. Verder wordt in afbeelding A1.d de verlenging van maximaal 0.00249 mm getoond als gevolg van de centrifugale kracht.



(a)



(b)



(c) (d)
 Figuur B.1. (a) model (b) inklemming (c) von mises stress (d) uitzetting

Stap 3: Vergelijking van de waardes

De waardes berekend doormiddel van de FEA-analyse in Catia, V5 geven een vergelijkbare waarde met de berekende waarde in stap 1. Dit geldt zowel voor tangentele als radiale spanning. De maximale radiale spanning wordt hier niet afgebeeld, deze kan door middel van de 'principale stress' worden afgelezen.

Tabel B.3: Vergelijking handberekening / FEM- analyse

	$\sigma_t \text{ max [Mpa]}$	$\sigma_r \text{ max [Mpa]}$
Handberekening	185	76.6
Catia V5 model	188	77.7

Stap 4

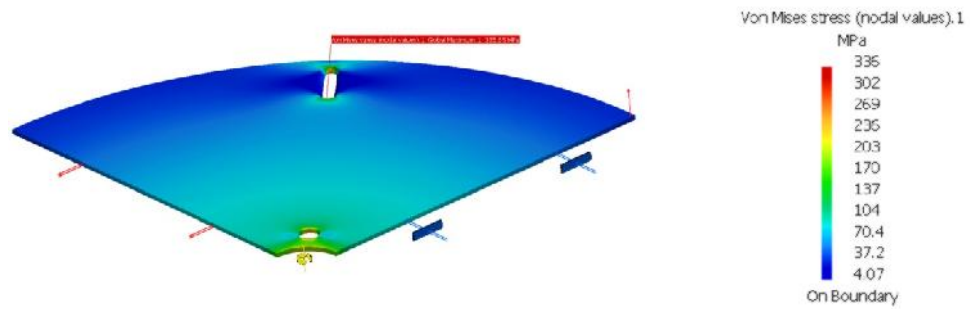
Het simulatie model in Catia geeft voor beide spanningen een hogere waarde. Echter de afwijking is niet significant hoog. Als de mesh van 0.2 verkleind wordt, dan zal de uitkomst van de handberekening meer benaderd worden. Dit zal echter een langere rekentijd vragen. Bij het aanpassen van het model met een aantal gaten zal het een goede benadering geven van de optredende spanning.

FEA-analyse pulsgenerator

Voor de analyse van de chopperdisk, gebruikt in de pulsgenerator, is een segment van 90° . Het gat waar de bundel doorheen gaat en het bevestigingsgat liggen in het midden van de schijf. Het segment van 90° geeft een goed model van de werkgelijkheid, omdat te zien is dat de spanningsconcentraties veroorzaakt door de gaten bij de zijkanten al geheel zijn uitgedempt.

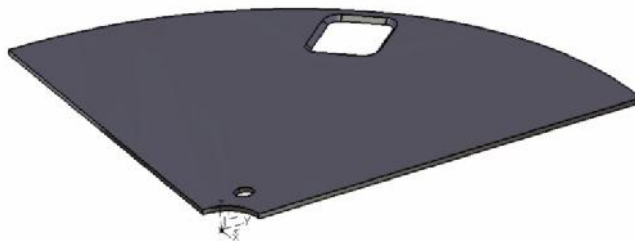


Figuur B.2.a. Segment van de pulsgenerator chopperdisk

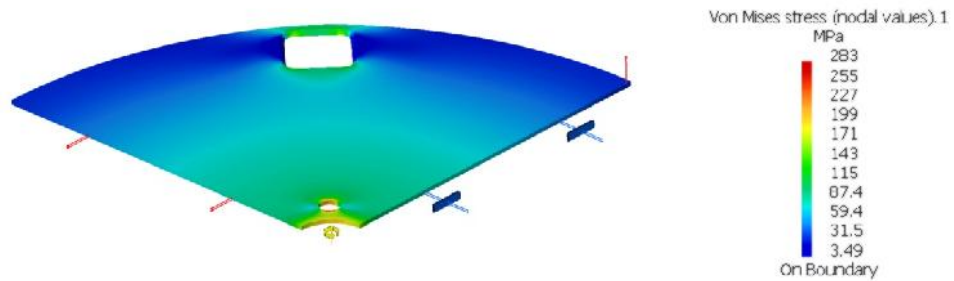


Figuur B.2.b. Von mises stress pulsgenerator chopperdisk

FEM-analyse selector



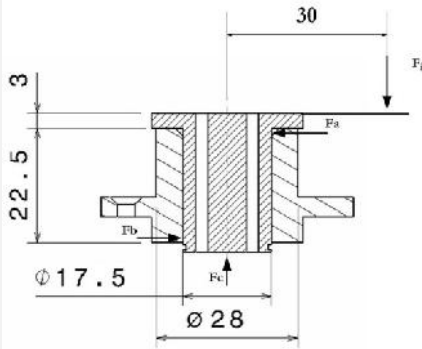
Figuur B.3.a. segment van de selector chopperdisk



Figuur B.3.c. Von mises stress selector chopperdisk

De spanning in de schijven van de pulsgenerator en de selector blijven onder de rekgrens (figuur B.2.b & B.3.c).

Tabel B.4: Gegevens veerberekening		
Omschrijving	Symbool	Waarde
Massa	F_g	1 kg
Wrijvingscoëfficiënt Cu Al -RVS	μ	0,45 [-]

VLS lagerhuis			
			

Onbekende krachten:			
$\curvearrowright M_b = 0; - 38.75 \text{ mm} \cdot F_g + F_a \cdot 22.5 \text{ [mm]} + F_c \cdot 8.75 \text{ [mm]} = 0$			
$\uparrow + \curvearrowright F_y = 0; -F_g + F_c = 0$			
$\rightarrow + \curvearrowright F_x = 0; F_b - F_a = 0$			
$F_a = 13.1 \text{ [N]}$	$F_b = 13.1 \text{ [N]}$	$F_c = 9.81 \text{ [N]}$	

Wrijvingskracht:			
$F_w = \mu \cdot F_n \rightarrow 0.45 \cdot (13.1 + 13.1 + 9.81) = 16.2 \text{ [N]}$			
Aangrijpingsmoment: 35 mm vanaf het hart			
$M_n = 35 \text{ [mm]} \cdot 16.2 \text{ [N]} = 567 \text{ [Nmm]}$			
Ka factor = 3 $\rightarrow \approx 1500 \text{ [Nmm]} \text{veerkracht}$			

Torsieveerberekening formules:			
$\sigma_b = \frac{M}{\frac{\pi}{32} d^3}$		$\alpha = \frac{360 \cdot 32 \cdot D_m \cdot M \cdot n_w}{E \cdot d^4 \cdot \pi}$	
$n_w = \frac{d^4 \cdot E \cdot \alpha \cdot \pi}{360 \cdot 32 \cdot D_m \cdot M}$		$M = \frac{\pi \cdot d^3 \cdot \sigma_b}{32}$	
$c = \frac{d^4 \cdot E \cdot \pi}{360 \cdot 32 \cdot D_m \cdot n_w}$			
$\sigma_b = \text{buigspanning}$		$\alpha = \text{hoekverdraaiing}$	
$n_w = \text{aantal werkzame windingen}$		$M = \text{moment}$	
$c = \text{veerconstante}$			

Input veerberekening			
Omschrijving	Grootheid	Eenheid	Waarde
Elasticiteitsmodules materiaal	E	N/mm ²	190000
Diameter veerdraad	d	mm	2
Diameter veer hart op hart	Dm	mm	35
Over te brengen moment	M	Nmm	1500
Hoekverdraaiing	α	°	333

Output			
Buigspanning	σ_b	N/mm ²	954,93
Aantal werkzame windingen	nw		5,25843
Veerconstant	c	Nmm/°	4,5045
Voorspanning	α	°	199,8

Bijlage 3: Materiaaldiagrammen

Vloeispanning - Dichtheid

Vloeispanning (MPa)

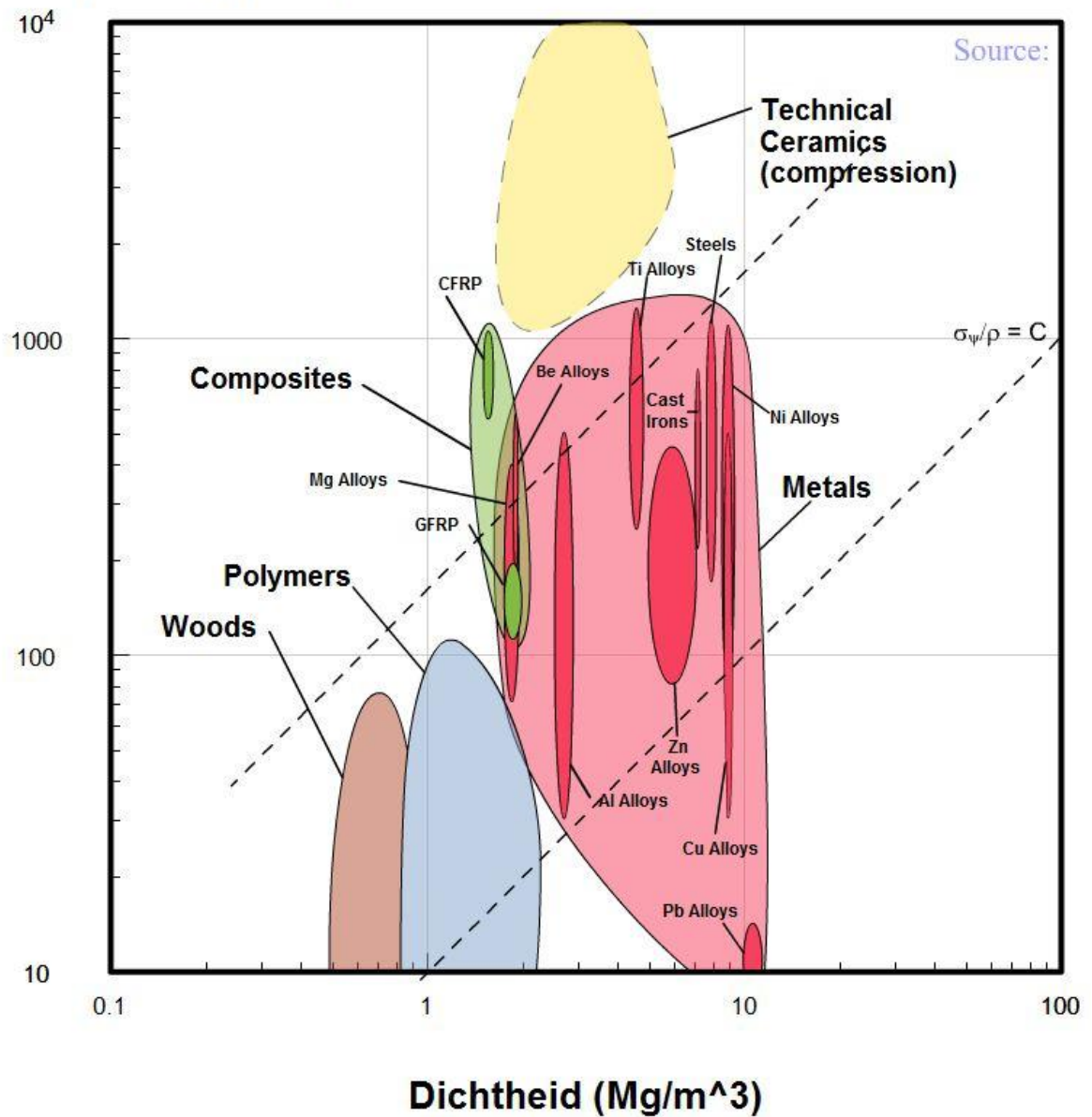


Diagram C. 3.1. Vloeispanning vs dichtheid [9]

Vloeispanning - Dichtheid

Vloeispanning (MPa)

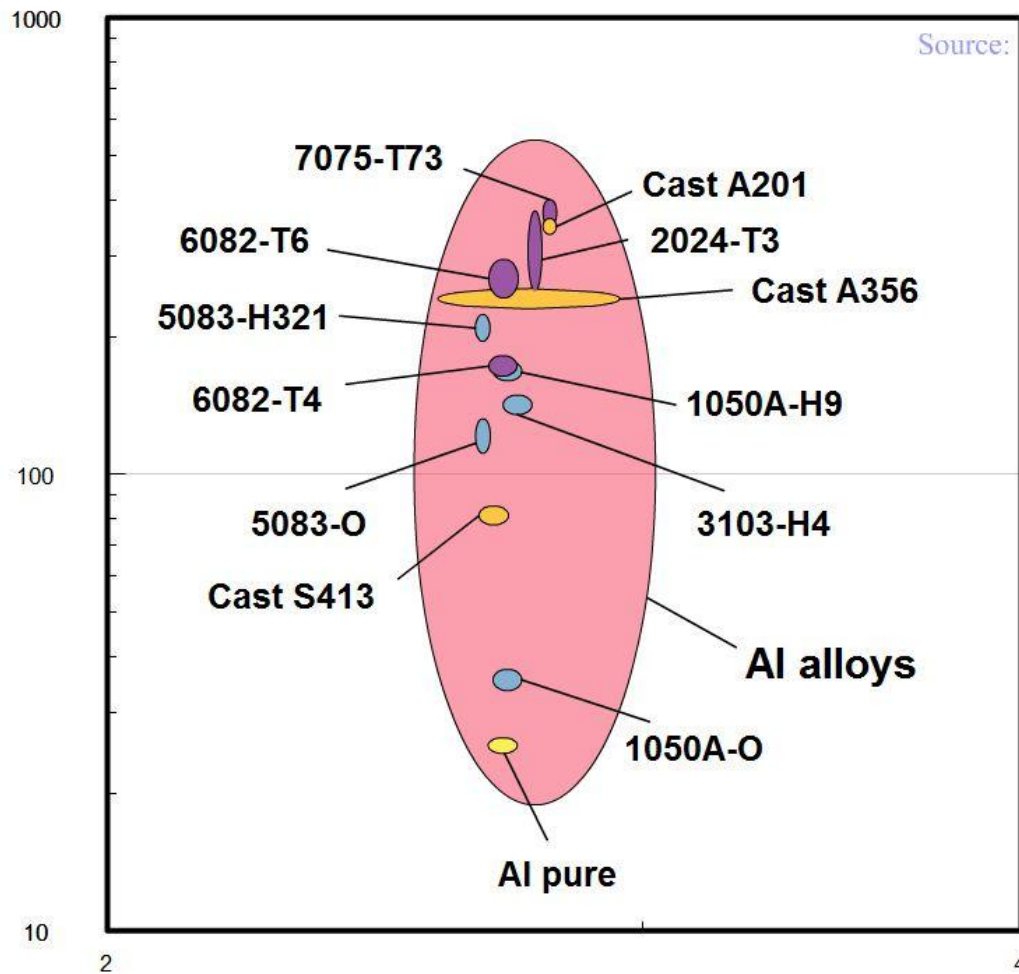


Diagram C 3.2. Vloeispanning vs dichtheid voor de aluminium legeringen [9]

Bijlage 4: Kooponderdelen



1.9" (48mm) Slotless Brushless DC motor.

• Up to 201,600 rpm

• Maximum continuous power 41 watts

Slotless design is cog free, and provides high efficiency and cool operation at high speed. Large bearings for long life. 150°C rated Neo rare earth magnets standard. Available with 120° hall sensors or sensorless. Hall sensors recommended for positioning or where a significant inertial load is attached to the shaft. The V (vacuum compatible option) has all non outgassing materials suitable for vacuum use and ceramic hybrid ball bearings. Special modifications are possible such as custom shaft lengths,



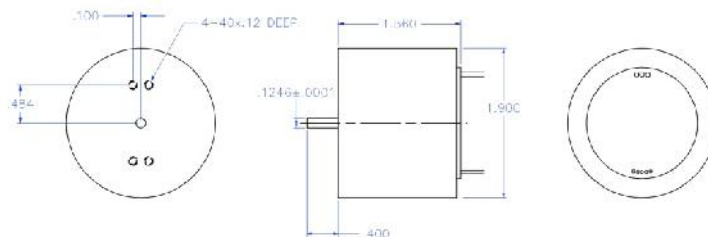
Motor Data

Winding		2575	12600
Nominal supply voltage	volts	24	16
no load speed	rpm $\pm 12\%$	61,800	201,600
speed/torque slope	rpm/oz-in	11,403	26,650
Stall torque (theoretical)	oz-in	11.8	9.7
Continuous torque case 20°C/no h.s.	oz-in	1.4/.7	.5/.0
Continuous current case 20°C/no h.s.	amps	4.0/1.4	6.9/.35
Motor constant Km	oz-in/ $\sqrt{w}$	.40	.26
Winding resistance not including leads	ohm $\pm 15\%$	1.00	.13
Peak output	watts	111	356
No load current	amp $\pm 50\%$	.23	.60
Damping factor	oz-in/krpm	.0016	.00026
Static friction	oz-in	.023	.012
Velocity constant	rpm/volt	2,575	12,600
Torque constant Kt	oz-in/amp	.52	.108
Stall current	amps	24.0	113
Maximum efficiency	%	81	86
Winding inductance	mH	.12	.005
Mechanical time constant	ms	10	24
Rotor inertia	10 ⁻⁴ oz-in-sec ²	.111	.111
Thermal res. winding to case	°C/W	5.2	5.2
Thermal case to ambient	°C/W	4.3	4.3

Weight 7 oz

Maximum winding temperature 125°C

values based on winding and magnet temperature of 20°C. Phase lead are 12" minimum and untrimmed lead resistance is .052Ω. Excess lead length should be trimmed. Phase leads are 24 gauge stranded TFE insulated, and hall leads are 28 gauge, TFE insulated. Axial force on bearing including during installation should not exceed 25 lb.



Leads	
Blue	Phase A
White	Phase B
Brown	Phase C
Red	+5 volts
Black	Ground
Yellow	Sensor A
Orange	Sensor B
Green	Sensor C

Ordering Information: mail@koford.com • phone 330-315-3061 • fax 937-695-0237 • www.koford.com

Example: Part Number 48 H 2575 A / A3

Motor dia. _____ Encoder A5=500lines(2,000 count)

Type S=sensorless H=120°halls _____ Modifications A=none, V=Vacuum compatible

Winding number _____

5/27/10 Specifications subject to change without notice

Unit conversions

$^{\circ}\text{F} - 32 \div 1.8 = ^{\circ}\text{C}$ example: $212^{\circ}\text{F} = 100^{\circ}\text{C}$, $^{\circ}\text{C} \times 1.8 + 32 = ^{\circ}\text{F}$ example: $100^{\circ}\text{C} = 212^{\circ}\text{F}$, $\text{in} \times 25.40 = \text{mm}$,
 $\text{mm} \times 0.03937 = \text{in.}$, $\text{oz} \times 28.3495 = \text{g}$, $\text{oz-in} \times 7.06 = \text{mNm}$, $\text{mNm} \times .142 = \text{oz-in.}$, $\text{Nm} \times .142 = \text{oz-in.}$,
 $\text{Ncm} \times 1.42 = \text{oz-in.}$, $\text{rpm} \times .1047 = \text{rad s}^{-1}$, $\text{V/R/S} \times .1047 = \text{volts/rpm}$, $746 \text{ watts} = 1\text{hp}$, $\text{lb-in}^2 \times .04144 = \text{oz-in-sec}^2$

Balancing

Components attached to the motor shaft should be dynamically balanced to G6.3 or better and located as close to the motor body as possible. G6.3 is equal to $0.64 \times \text{weight (oz.)}/\text{rpm} = \text{unbalance in milli oz-in.}$ If the components have appreciable length they must be balance in 2 planes.

Motor technology

The Koford 48HS brushless series of motors are high speed slotless sintered rare earth permanent magnet motors with unique technology. Compared to other brushless motors they have higher speed capabilities, better efficiency, lighter weight and more durable construction (ML Class 220C wire insulation bonded with solventless Class 205 thermoset resin) compared to the low temp bondable wire used in other slotless motors which will soften and fail under thermal overload.

Operating speed

Motors can be operated at any voltage lower than the specified voltage. Motors must not be operated over the maximum speed listed. To obtain speeds over 100,000 rpm the S18V15A drive must be used. Hall drives are not recommended for speeds over 60,000 rpm.

Motor selection

Hall sensor motor can start large inertial loads. For this reason they are most suitable for applications such as beam choppers providing that a speed above 60,000 rpm is not required. If higher speeds are required then a sensorless motor must be used with the S18V15A drive. This drive requires operation from a variable voltage power supply with a current limit of 15 amps or less. For most applications a 3 to 5 amps supply will be suitable. These power supplies are readily available for electronics distributors.

Speed torque calculations

A motors no load speed is equal to the supply voltage times the velocity constant (rpm/v). Under load the rpm will drop. To determine the approximate speed, use dyno data if listed, or use the speed torque slope from the data sheet. For example if the supply voltage is 28 volts and the rpm/volt is 500 then the no load speed will be 14,000 rpm. If the speed torque slope is 800 rpm/oz-in and a 5 oz-in load is applied to the shaft then the speed will be $14,000 - (5 \times 800) = 10,000 \text{ rpm}$. If there is extra wiring between the drive and the motor, or the supply and the drive, then the speed will drop at a more rapid rate due to the voltage drop in the wiring. A design margin of at least 15% should be used to allow for motor tolerances, so for example with the above motor the rpm can be expected to be at least 8,695 rpm.

Motor cooling

The continuous output torque which can be achieved from a motor is limited by the allowable maximum temperature. This in turn is determined by the cooling provided by the user, and the ambient temperature. The 20°C continuous torque values listed are based on the motor housing being held to 20°C by such means as a refrigerated cooling jacket clamped to the OD of the motor. If the ambient temperature is above 20°C then the continuous duty torque is reduced.

Vacuum Applications

Standard motors are suitable for low vacuum applications. For high vacuum applications use (option V). Vacuum grade motors are made with low outgassing material and baked before shipping. A vacuum bake by the customer immediately prior to use may be desirable to reduce initial pump down time. An important consideration is that

in a vacuum there is no heat removal by air contacting the motor housing. Therefore the mounting of the motor should be made of highly thermally conductive material, such as copper or aluminum, should be of as heavy a cross section as possible, and should connect to a large surface exposed to the outside air. A liquid cooling jacket with a heat exchanger can also be used for the ultimate performance.

Motor hook up

Koford hall sensor motors typically separate the phase and sensor wires. These wires should be kept apart and away from other wires. The leads should be trimmed as short as possible to reduce EMI and power losses. Where electrical noise is a consideration the phase wires may be twisted or braided with each other or enclosed in a shielded jacket. The same can be done with the hall leads to prevent their picking up EMI from noise sources.

EMI

Koford drives and motors have low levels of emi relative to other motors but in sensitive applications the following steps are suggested. First keep the phase wires as short as physically possible and twist or braid them together and if necessary add a shield jacket terminated at one end. Add a $5,000\mu\text{F}$ cap at the input to the drive along with a common mode inductor. Add small inductors to each of the phase wires. If possible vary the input voltage to the drive rather than using the speed control. Place the drive and motor as close together as possible. Also consider enclosing the drive or motor and drive in a metal enclosure.

PWM basics

Variable speed drives operate using PWM where the voltage to the motor is rapidly turned on and off. This is the same as a switching power supply where the motor is the filter. A PWM drive operates like a transformer, for example if the motor pulls 20 amps at 12 volts and the input to the drive is 36 volts then the input current to the drive will be $12/36 \times 20$ or 6.66 amps (neglecting losses). A drive rated at 20 amps will only pull 20 amps from the power supply or battery if the speed is turned all of the way up (no PWM). The S18V15A drive does not use PWM so this is not applicable. With this drive the motor current will be the same as the power supply current.

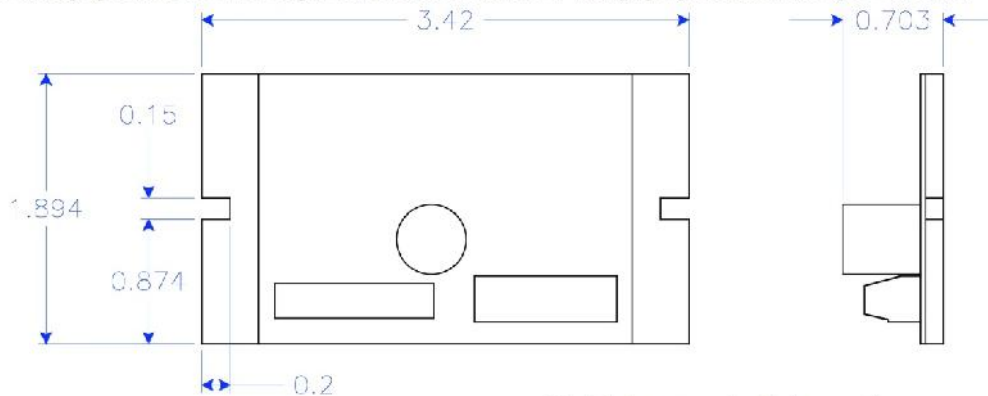


H24V5A hall sensor motor driver 5A 12-32V

Ultra high efficiency miniature hall sensor drive with 56k pwm frequency, designed for use with stand alone, digital or analog operation. The drive has no minimum inductance and will operate slotless or ironless brushless motors without the need for bulky, cumbersome inductors. Three types are available, a full featured -1 model which include tach and current output, speed control and direction control, a lower cost -2 which deletes the tach and current output, and -3 which has closed loop speed control at the board level and tach output. For stand alone operation the optional speed pot can be ordered.



Once power supply, motor and speed pot are connected the motor can be operated without the need for any adjustments, set up or programing. If reversible operation is required a SPDT switch can be added between Dir and P-. For digital operation the unit will interface with a customers microcontroller. The microcontroller should be 5v or be a 3.3v with 5v interface capabilities. Speed input can be accomplished with a 0-5v analog input (less then 1mA) or a 100 hz to 100k Hz square wave with variable duty cycle. The input signal should be adjusted so as to close the loop with the TAC output which outputs a 4v square wave with a fixed on time. The frequency equals 6 pulses per revolution for a 2 pole motor, 12 for a 4 pole etc. The direction is controlled by 0v (reverse) or 5v (forward) to the DIR input. The current output is a DC voltage at 1v per amp of motor current (not power supply current). For analog operation the TAC output can be filtered and a DC voltage proportional to the rpm will result.



Terminal block positions (motor lead hook up for Koford motors)

DIR=leave unconnected for forward direction, hook to P- for reverse

I=current output, 1V = 1A of motor current

TAC=tach/encoder output 3 pulses per revolution per magnet pole pair (1,000 hz=10,000 rpm 2 pole motor)

P+=connect to one side of pot (6.2v)

PW=connect to pot wiper (center terminal)

P-=connect to other side of pot (ground)

H=black motor wire (hall ground)

H+=red motor wire (hall power)

HA=yellow motor wire

HB=orange motor wire

HC=green motor wire

-=Connect to black (-) lead of power supply

+=Connect to red (+) lead of power supply

B=white motor wire

A=blue motor wire

C=brown motor wire

Ordering information:

mail@koford.com•phone 330-315-3061•fax 937-695-0237•www.koford.com

Part number: H24V5A-1 Drive with current and tach outputs P1 Optional pot

H24V5A-2 Drive without current and tach output

H24V5A-3 Closed loop drive with tach output

5/19 Specifications subject to change

Notes

1. When using a microcontroller to operate the drive a 5 volts output should be used and the pwm frequency should be 8Khz or more, otherwise filtering of the output will be required.
2. The drives current output shows motor current, this is not the same as power supply current. A pwm drive acts much like a variable transformer to reduce the voltage and at the same time increase the current delivered to the motor. For example if the speed pot is set to 10% of maximum speed and the power supply shows 0.5 amp and 24 volts, the motor will see approximately 5 amps and 2.4 volts. This current sense output is approximate and is most accurate near full load current.
3. The current limiting of the drive limits the current delivered to the motor to slightly above 5 amps, this means that the current at the power supply will reach a maximum of slightly above 5 amps with the speed turned to maximum, if the speed is reduced then the maximum current at the power supply will be proportionately reduced so as to maintain the current at the motor at a maximum of 5 amps.
4. The drive should preferably be mounted to an aluminum chassis or frame, or a aluminum heat sink. Drive heat rise is greatest at high currents, low duty cycles and continuous operation. If the application is 100% duty cycle, with normal indoor ambient temperature, the current is low compared to the rated current, or if the application is intermittent with on times for example of 1 minute and off times of at least 1 minute, then a heat sink will probably not be necessary. For high ambients forced air cooling directed at the board can help. For long term reliability, it is recommended that sufficient cooling be provided to prevent the hottest spot on the board from exceeding 100C. This can be checked with a portable infrared thermometer
5. Reversing direction while the motor is spinning (4 quadrant operation) should be normally be avoided. If the motor is running at maximum speed and the direction is reversed then currents as high as twice the stall current of the motor can flow damaging the drive and motor. The energy stored in the load will be dumped into the power source for the drive. If this is a battery the battery will be recharged, however if a power supply is used internal diodes will prevent the energy from transferring to the AC line power and instead the output capacitor of the power supply will be charged up. This can result in destruction of the power supply and or the drive due to overvoltage. If the application requires 4 quadrant operation then a shunt resistor and relay must be added to the power supply to absorb the regenerative energy and prevent power supply overvoltage. Also the speed input should be set to zero and the direction input modulated between forward and reverse to control deceleration. The programmed deceleration rate should be no more than the maximum acceleration rate as determined by the power supply current limit and motor K_t .

Connecting other brands of motors

Make sure that the motor uses 120° halls. Hook up halls and sensors in the sequence indicated on the motor information. If the motor runs in the opposite direction desired either use the direction terminal to change direction or switch Phase A with Phase B and Hall HC with Hall HA.

THERMATTACH® Tape

Thermally Conductive Attachment Tapes



Description

THERMATTACH® double-sided thermal interface tapes provide exceptional bonding properties between electronic components and heat sinks, eliminating the need for mechanical fasteners.

THERMATTACH® tapes are proven to offer excellent reliability when exposed to thermal, mechanical, and environmental conditioning. They are offered in a variety of configurations, as detailed in the typical properties table.

Features / Benefits

- Offered in various forms to provide thermal, dielectric, and flame retardant properties
- Offered in custom die-cut configurations to suit a variety of applications

- Eliminate the need for mechanical attachment (i.e. screws, clips, rivets, fasteners)
- Proven reliability under various mechanical, thermal, and environmental stresses
- Embossed version available
- UL recognized V-0 flammability
- Meets RoHS specifications
- No curing required, unlike epoxy or acrylic preforms or liquid systems
- Easily reworkable

Typical Applications

- Mount heat sinks to components dissipating < ~25 W
- Attach heat sinks to PC (esp. graphics) processors
- Heat sink attachment to motor control processors
- Telecommunication infrastructure components

Product Attributes

T418

- Superior adhesive strength
- Best conformability to components
- UL94 V-0 rated
- Good thermal performance

T412

- Good adhesion
- Superior thermal performance
- General use tape with added thermal conductivity of Al foil layer

T411

- Designed for adhesion to plastic packages
- Attaches to low surface energy packages

T404/T414

- Excellent dielectric strength due to polyimide carrier
- Good thermal performance
- UL94 V-0 rated
- T404 without halogenated flame retardant

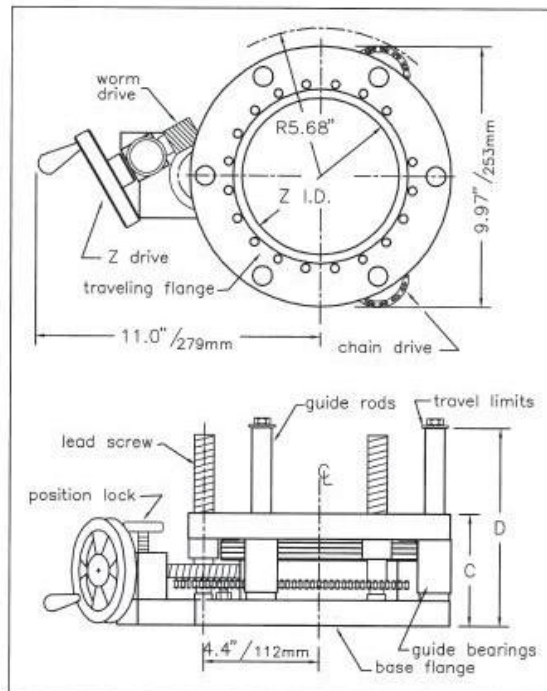
T405

- General use tape with added thermal conductivity of Al foil layer
- Excellent thermal performance
- UL94 V-0 rated
- T405 without halogenated flame retardant

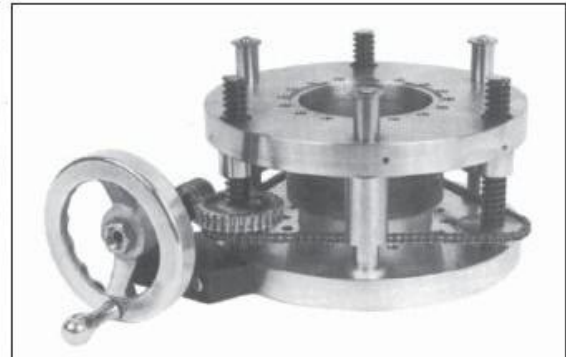
THERMATTACH® Thermally Conductive Attachment Tapes

Thermally Conductive Attachment Tapes							
	Typical Properties						
Physical	Recommended for Plastic Component Attachment	No	No	No	T405 / T405 R	T411	Method
	Color	Light Yellow	Gray	Beige	White	Clear / Metallic	--
	Embossed	Optional	Standard	Standard	Standard	No	--
	Reinforcement Carrier	Fiberglass	Aluminum Mesh	Filled Polyimide	Aluminum	Aluminum Mesh	Visual
	Thickness, inch [mm]	0.010 [0.25]	0.0079 [0.23]	0.0075 [0.127]	0.006 [0.15]	0.010 [0.25]	ASTM D374
	Thickness Tolerance, inch [mm]	+ 0.001 [0.025]	+ 0.001 [0.025]	+ 0.001 [0.025]	+ 0.001 [0.025]	+ 0.001 [0.025]	--
	Adhesive CTE, ppm/°F	300	300	300	300	400	ASTM D3386
	Glass Transition Temperature Range or °C	-4 [-20]	-22 [-30]	-22 [-30]	-22 [-30]	-58 [-50]	ASTM D1356
	Operating Temperature Range, °F [°C]	-22 to +257 [-30 to +125]	-22 to +257 [-30 to +125]	-22 to +257 [-30 to +125]	-22 to +257 [-30 to +125]	-58 to +302 [-50 to +150]	--
	Thermal Impedance °C-in² / W [°C-cm²/W]	1.2 [7.7]	0.30 [2.0]	0.6 [3.7]	0.5 [3.4]	1.0 [6.5]	ASTM D6270
Thermal	Thermal Conductivity W/m-K	0.5	1.4	0.4	0.5	0.5	ASTM D6270
	Voltage Breakdown (kVdc)	5	N/A	5	N/A	NA	ASTM D149
Electrical	Volume Resistivity, [ohm-cm]	1.0 X 10 ¹³	1.0 X 10 ¹³	3.0 X 10 ¹⁴	N/A	NA	ASTM D257
	Lap Shear Al-Al @25°C, psi [kPa]	150 [1,034]	75 [480]	100 [689]	100 [689]	40 [270]	ASTM D1002
Mechanical / Adhesion	90° Peel Adhesion to 0.002" aluminum foil, lb/7in [N/cm]	4.0 [6.9]	1.0 [1.76]	1.5 [2.6]	1.5 [2.6]	2.0 [3.5]	ASTM D1000
	Die Shear Adhesion after 400 psi attachment, kPa [psi] - 2 hour sample dwell time 77°F [25°C]	150 [1,034]	135 [931]	130 [897]	125 [862]	110 [759]	Chomerics #54
Mechanical / Adhesion	Creep Adhesion, days 77°F [15°C] 302°F [125°C]	>50 >10	>50 >10	>50 >10	>50 >10	>50 >10	PSTC-7
	Flammability Rating [See UL File E140244]	V-0	Not Tested	V-0	V-0	Not Tested	UL94
	RoHS Compliant	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Chomerics Certification
Regulatory	Shelf-Life, months from shipment	12	12	12	12	12	Chomerics
	Outgassing, % CYCM [1% TML]	Not Tested	0.00 [0.14]	0.02 [0.56]	0.01 [0.25]	Not Tested	ASTM E595

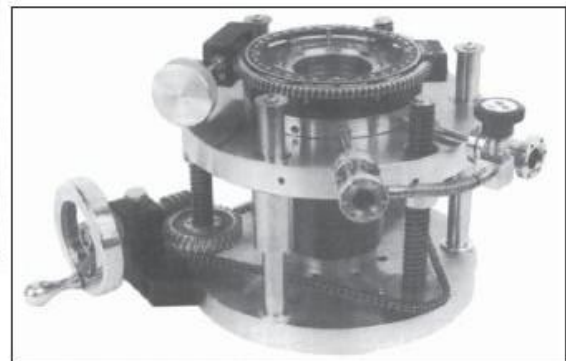
ECT Jacking Stages



ECT/3LS Layout



ECT-4-2/3LS-6



ECT-3-2/3LS-6 with RNN-250/FA/MFDF

Ordering Information — Single-Axis Ultra High Vacuum Precision Translators with 2" of Z travel

Bellows I.D.	Lead Screws	Flange Detail	Max. Z Travel Available	Model No.	Price	Addl. Z Travel Per Inch
3.00"	/3LS	6.00"	6	ECT-3-2/3LS-6	4015	396
	/3LS	8.00"	6	ECT-3-2/3LS-8	4015	396
4.00"	/3LS	6.00"	6	ECT-4-2/3LS-6	4389	495
	/3LS	8.00"	6	ECT-4-2/3LS-8	4389	495
5.00"	/3LS	8.00"	6	ECT-5-2/3LS-8	5060	583
5.75"	/3LS	8.00"	6	ECT-5,75-2/3LS-8	5489	671

Options

/STOP Adjustable Preset Stop

- Adjustable Acme screw stop with set screw lock

Price €66

/PI Position Indicator

- Scale and pointer

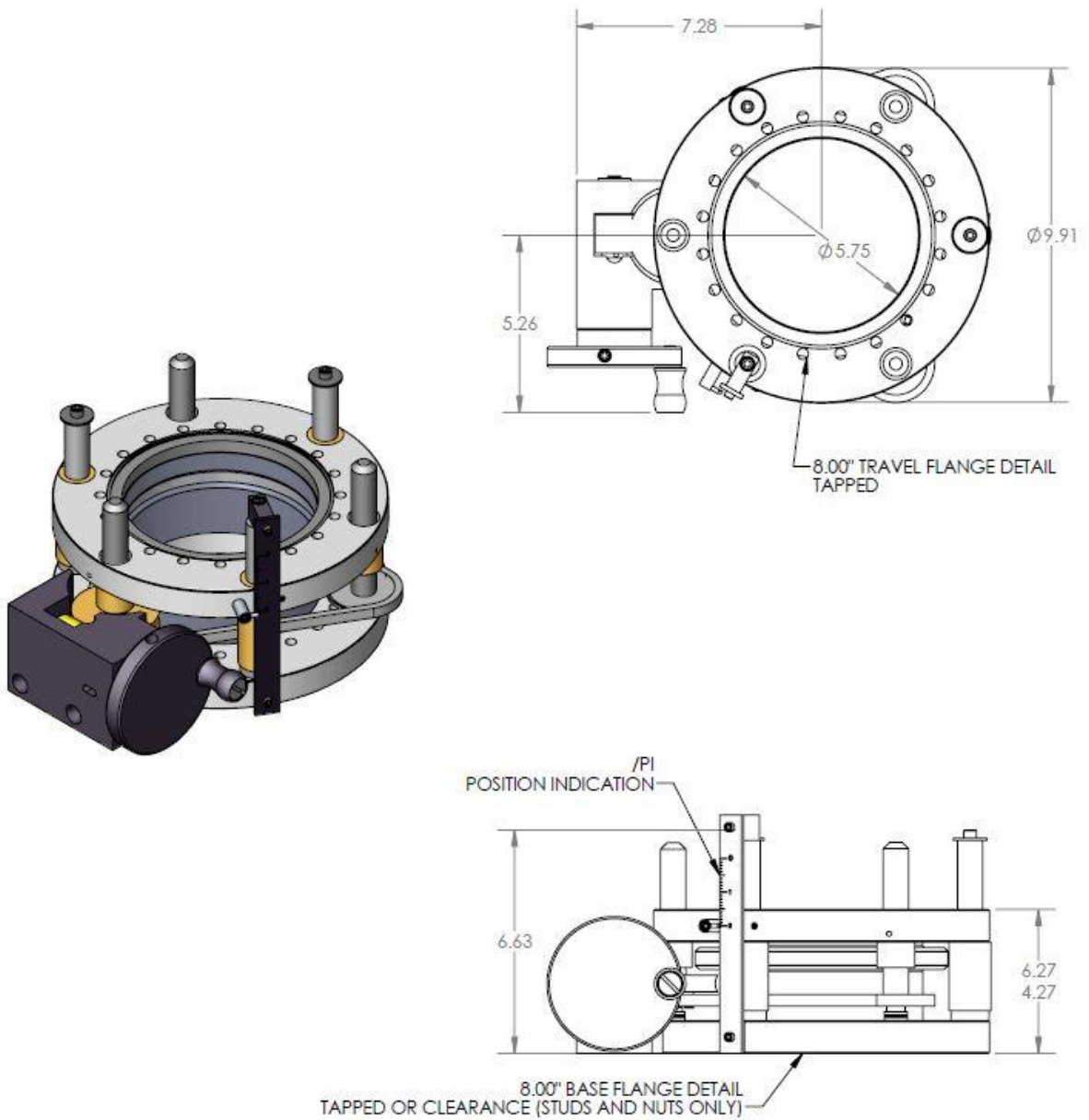
Price €192,50

All prices in Euro

Hosttrad Holland B.V. - De Wel 44 - 3871 MV - P.O.B. 114 - 3870 CC Hoelvelaken - Phone: +31 (0)39-25372-10 Fax: +31 (0)39-2536274
 Hosttrad Deutschland - Lindnergasse 2 - D-93047 Regensburg - Phone: +49 (0)941-558227 Fax: +49 (0)941-582298
 All Printed pricing and data are subject to change without notice, for the actual prices see our website.
 www.hosttrad.com - e-mail: info@hosttrad.com



2-17



ECT-5.75-2/3LS-8/PI

231-B Otto Street, Port Townsend, WA 98368 • Phone 800-962-2310 or 360-385-7707 • Fax 360-385-6617
www.thermionics.com • sales@thermionics.com

Linear Feedthroughs — Rotary Actuated



FLMR-133-25-2

Rotary Actuated Linear Feedthrough

FLMR-133-25 Series

- 1/4" O.D. probe
- 1.33" O.D. mounting flange (2.75" O.D. flange optional)
- Up to 6" stroke
- Rotary actuated, 20 turns/inch
- Stainless steel bellows sealed
- All ball-bearing drive
- Stainless steel linear shaft bearing
- Includes position indicator

Options

/2.75" Flange

Model No. FLMR-133(275)-X

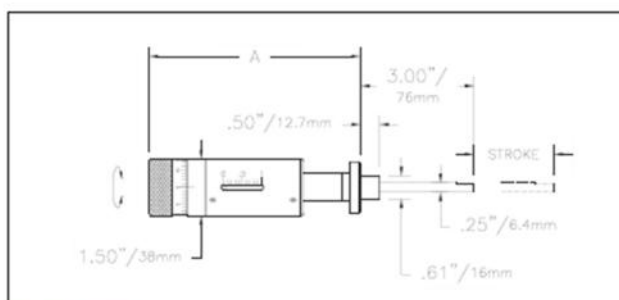
Price add € 66

/CL Custom Length Probe

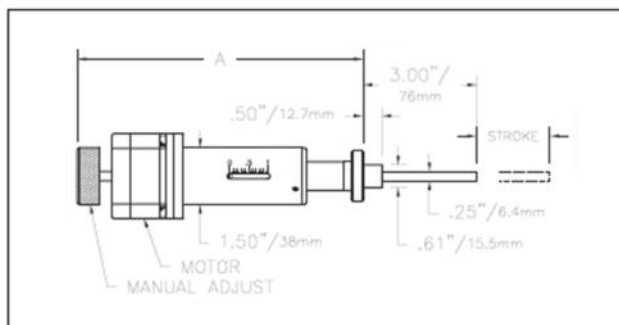
Price add € 66

/TM Tip Modification

Price Consult Factory



FLMR-133-25-1



FLMR-133-25-1/MS (shown with optional /MS stepper motor drive)

Motorization Options

/MS Stepper Motor Drive

Applications: precise positioning, positioning multiple axes at one time, computer-controlled actuation

- Direct drive
- 200 steps per revolution
- 100 oz-in holding torque (higher torque motors available)
- Maximum speed 300 rpm
- Low inertia design
- Manual knob
- Motor controller sold separately

Price See table

/MY Synchronous Motor Drive

Applications: coarse positioning

- Direct drive
- Single speed, 72 rpm
- 2 directions
- 100 oz-in holding torque (higher torque motors available)
- Maximum speed 300 rpm
- Low inertia design
- Manual knob
- Motor controller sold separately

Price See table

SMC Stepping or YMC Synchronous Motor Controller

On request

Rotary Actuated Linear Feedthroughs — FLMR-133-25 Series

Flange O.D.	Probe O.D.	Stroke***	A****	Model No.	Base Price	Motorization Opt.*	/MS**	/MY**
1.33"	0.25"	1"	5.60"	FLMR-133-25-1	€ 808		€ 215	€ 215
		2"	6.99"	FLMR-133-25-2	€ 919		€ 215	€ 215
		3"	9.20"	FLMR-133-25-3	€ 1.095		€ 215	€ 215
		4"	12.60"	FLMR-133-25-4	€ 1.271		€ 215	€ 215
		6"	16.60"	FLMR-133-25-6	€ 1.491		€ 215	€ 215
Custom probe length					add	€ 66		

* Add motorization option price to base price.

** Price does not include controller.

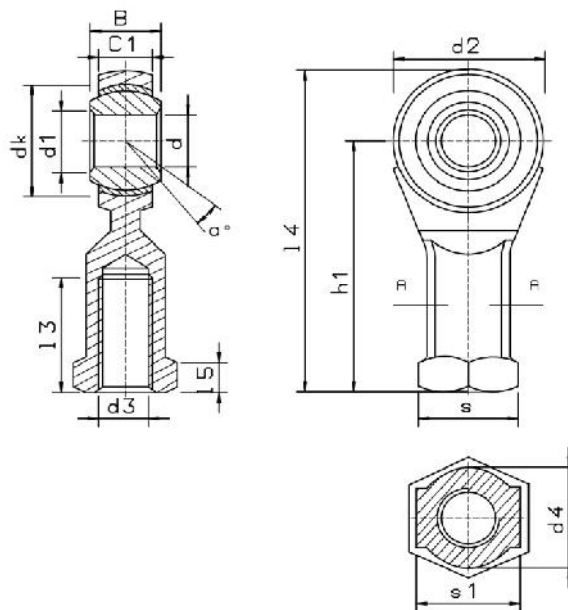
*** Other strokes available.

**** Dimension A changes with addition of motorization options, Consult Factory.

STANGKOPPEN IN ROESTVAST STAAL 316 serie TFR

Zelfsmerende stangkoppen

volgens DIN 648-K



lagering: roestvast staal 316,
onderhoudsvrij

kogel: gehard roestvast staal AISI 420

behuizing: roestvast staal AISI 316

Bestelnummer	d H7	d3	B -0,15	C1	d1	d2	d4	dk	l3	l4	l5	h1	s	s1	a°
TFR3 M3x0,5*	3	M3x0,5	6	4,5	5,1	13	6,50	7,94	10	28	3,0	21	7	6	14
TFR5 M4x0,7*	5	M4x0,7	8	6	7,7	17	9,00	11,11	10	36	4,0	27	10	9	13
TFR5 M5x0,8	5	M5x0,8	8	6	7,7	17	9,00	11,11	10	36	4,0	27	10	9	13
TFR6 M6x1*	6	M6x1	9	7	8,9	20	10,00	12,70	12	40	5,0	30	11	10	11
TFR8 M8x1,25*	8	M8x1,25	12	9	10,3	23	12,50	15,87	16	48	5,0	36	14	12	14
TFR10 M10x1,5	10	M10x1,5	14	10,5	12,9	27	15,00	19,05	20	57	6,5	43	17	14	13
TFR10 M10x1,25*	10	M10x1,25	14	10,5	12,9	27	15,00	19,05	20	57	6,5	43	17	14	13
TFR12 M12x1,75	12	M12x1,75	16	12	15,4	31	17,50	22,22	22	66	6,5	50	19	17	13
TFR12 M12x1,25*	12	M12x1,25	16	12	15,4	31	17,50	22,22	22	66	6,5	50	19	17	13
TFR16 M16x2	16	M16x2	21	15	19,3	40	22,00	28,57	28	84	8,0	64	24	22	15
TFR16 M16x1,5*	16	M16x1,5	21	15	19,3	40	22,00	28,57	28	85	8,0	64	24	22	15
TFR20 M20x2,5	20	M20x2,5	25	18	24,3	48	27,50	34,92	33	101	10,0	77	30	27	15
TFR20 M20x1,5*	20	M20x1,5	25	18	24,3	48	27,50	34,92	33	101	10,0	77	30	27	15

(1) Voor linkse draad L toevoegen (vb. TFR10 L)

*Uitvoering voor pneumatische cilinders volgens ISO 8139 / CETOP RP103 P / DIN 24335



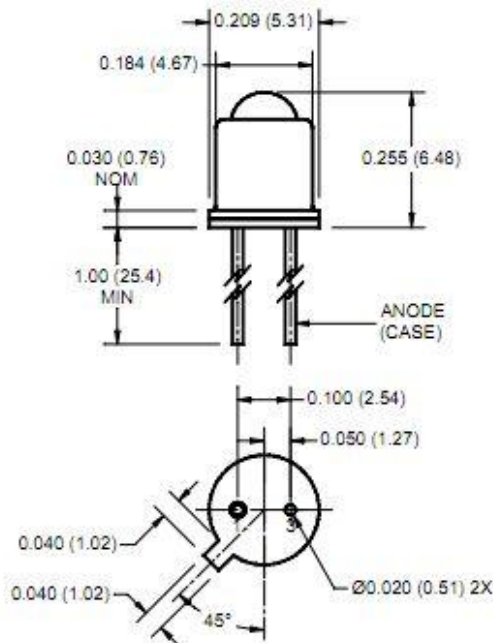
GaAs INFRARED EMITTING DIODE

LED55B

LED55C

LED56

PACKAGE DIMENSIONS

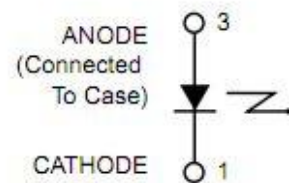


NOTES:

1. Dimensions for all drawings are in inches (mm).
2. Tolerance of $\pm .010$ (.25) on all non-nominal dimensions unless otherwise specified.



SCHEMATIC



DESCRIPTION

The LED55B/LED55C/LED56 are 940 nm LEDs in a narrow angle, TO-46 package.

FEATURES

- Good optical to mechanical alignment
- Mechanically and wavelength matched to the TO-18 series phototransistor
- Hermetically sealed package
- High irradiance level

E G & G/CANADA/OPTOELEK

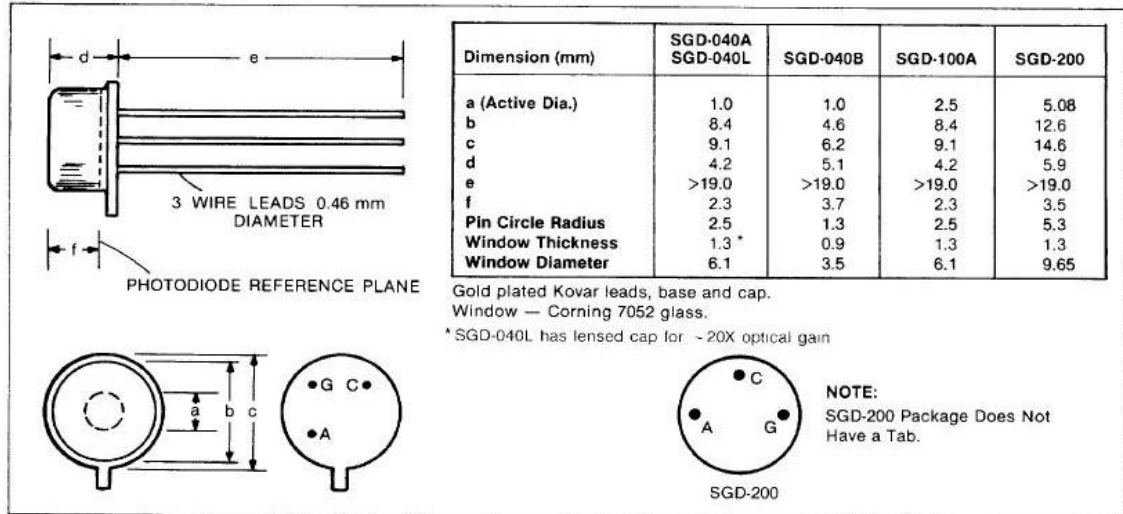
47E D

3030610 0000321 7 CANA 7-41-53

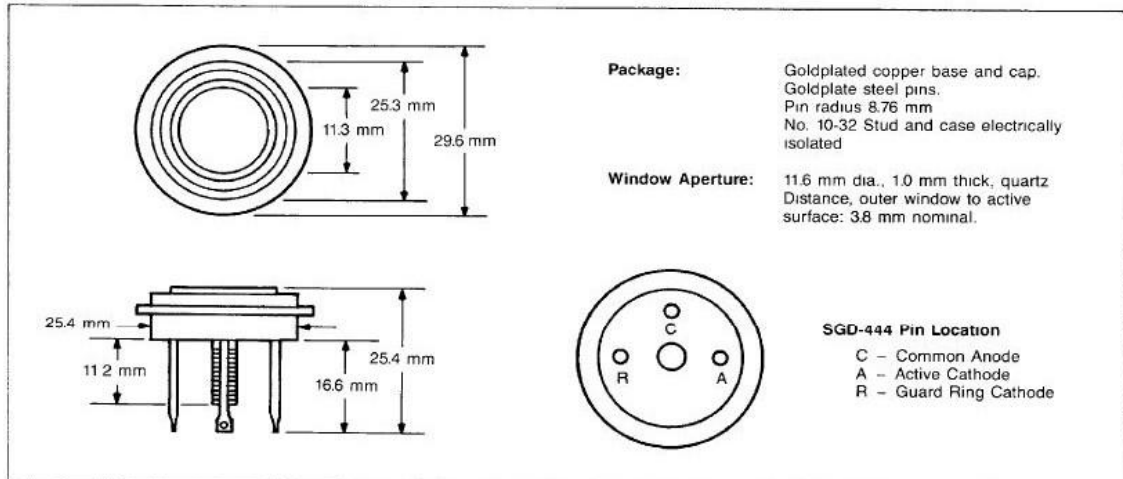
High Speed, General Purpose

Mechanical Data and Pin Configurations

SGD-040, 100, 200 Series



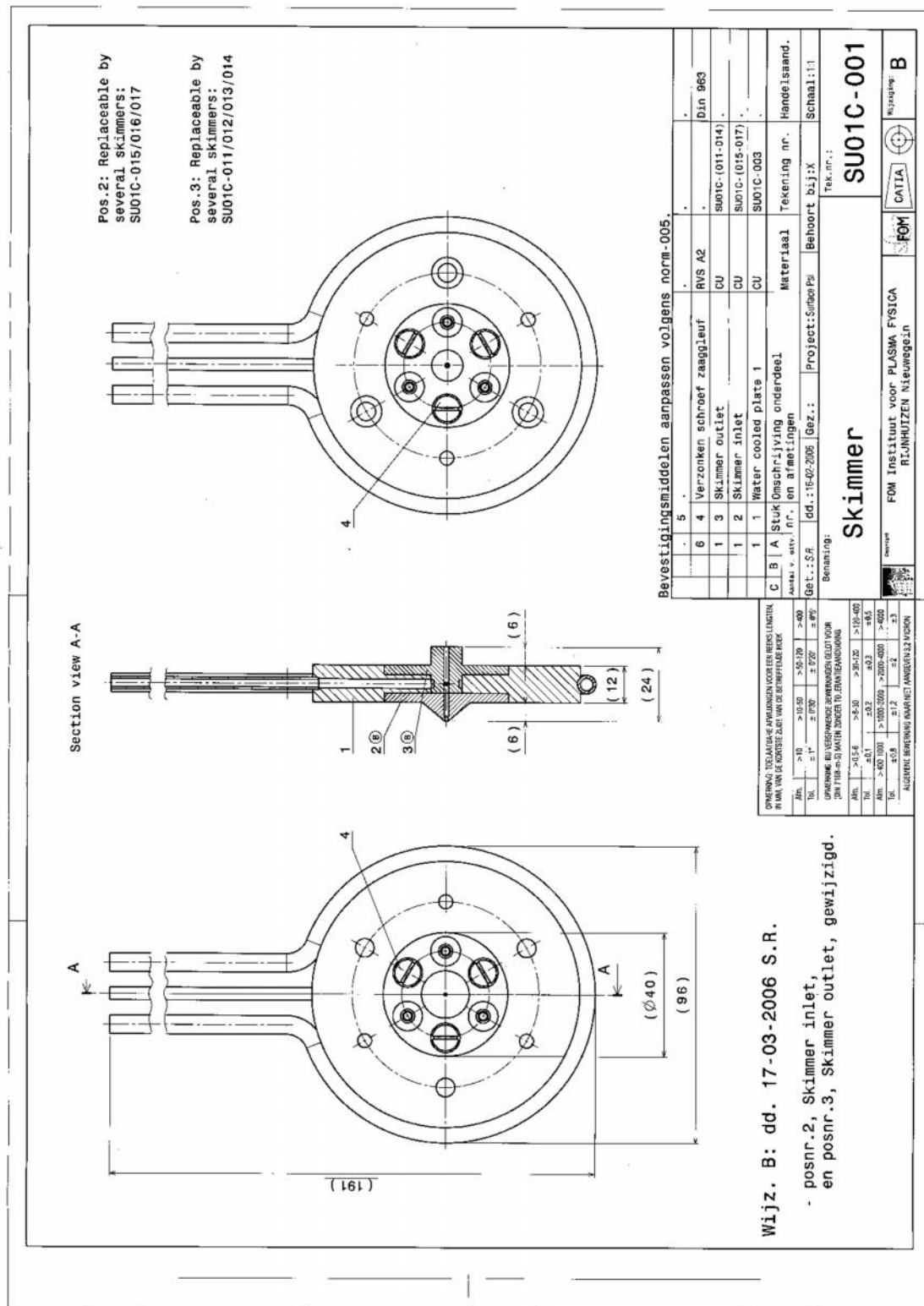
SGD-444 Series



Guaranteed Environmental Performance

Document	Inspection	Method	Test Condition
MIL-STD-750B	Vibration	2056	20 g Amplitude
	Shock	2016	1500 g Half Sinusoidal
	Thermal-Temp Cycling	1056.1 B	0°C to 100°C, 5 Cycles
	Constant Acceleration	2006	5000 g
MIL-STD-202D	Moisture Resistance	106	25-65°C; 90-98% RH

Bijlage 5: Werktekening huidige skimmer



Bijlage 6: Strokenplanning

