

# Een opdampinstallatie voor het aanbrengen van reflectiecoatings voor zachte röntgenstraling op gekromde oppervlakken

A. Verheul, P.F.M. Delmee, W.J.J. Wolfis, FOM-Instituut voor Plasmafysica, Nieuwegein

Sinds het einde van de jaren zeventig bestaat een grote belangstelling voor veellaagscoatings voor het zachte röntgengebied. Op een geschikt oppervlak aangebracht geven dergelijke coatings aan dat oppervlak bijzondere reflectie-eigenschappen. Tot nu toe bleven de toepassingen meestal beperkt tot platte vlakken.

Op het FOM-Instituut voor Plasmafysica in Nieuwegein wordt nu een methode ontwikkeld om dergelijke coatings ook op sterk gekromde objecten zoals paraboloïden te kunnen aanbrengen, in het kader waarvan de hier beschreven installatie is ontworpen en gebouwd.

## Hoe werkt een röntgen reflectiecoating

De reflectie van elektromagnetische straling aan een oppervlak wordt niet alleen bepaald door de ruwheid van het oppervlak, maar ook door het soort materiaal en de golflengte en invalshoek van de opvallende straling. Bij betrekkelijk lange golflengten, bijvoorbeeld in het zichtbare gebied, wordt vrij gemakkelijk een goede reflectie verkregen. Omgekeerd is dit bij harde röntgenstraling, met een korte golflengte en een zeer groot doordringend vermogen, nauwelijks mogelijk. De straling in het golflengtegebied van ruwweg 0,1 nm tot 10 nm, vaak aangeduid met "zachte röntgenstraling" vertoont een gedrag dat hier min of meer tussenin ligt. De reflectie is klein, maar niet verwaarloosbaar. In dat geval kan een verbetering worden bereikt door het toepassen van een veellaagscoating. Zo'n coating kan worden beschouwd als een pakket achter elkaar opgestelde matig reflecterende oppervlakken, zie *figuur 1*.

Praktisch kan dit worden bereikt door een aantal malen een dun laagje van een zwaar element, bijvoorbeeld wolfram, af te wisselen met een tussenlaag van een licht element, bijvoorbeeld koolstof. Elk wolframlaagje reflecteert dan een deel van de opvallende straling, de koolstoflagen zijn voor de betreffende golflengte min of meer transparant. Deze lagen kunnen uiterst dun zijn, 0,5 nm voor de metaallaagjes en 2 nm voor de koolstoflagen is niet ongebruikelijk. Het is opmerkelijk dat dergelijke dunne laagjes nog zulke uitgesproken optische effecten vertonen.

Voor bepaalde combinaties van golflengte en invalshoek bedraagt het verschil in weglengte tussen de gereflecteerde stralen steeds een hele golflengte, er treedt "versterking" op. Dit verschijnsel kan ook optreden als een bundel röntgenstralen een kristal treft. Een veellaagscoating wordt daarom met betrekking tot dit effect ook wel beschouwd als een kunstmatig kristal met een binnen zekere grenzen vrij te

kieszen roosterafstand.

De toepassingen zijn vooral te vinden in wetenschappelijke apparatuur en zijn te verdelen in enerzijds de toepassingen waarbij men de reflectie van een oppervlak wil verbeteren, en anderzijds de toepassingen waarbij gebruik gemaakt wordt van de omstandigheid dat reflectie alleen optreedt bij bepaalde combinaties van golflengte en invalshoek, en de coating als een soort filter wordt gebruikt. In de jaren zeventig is dankzij het werk van Spiller<sup>[1]</sup> een goede en eenvoudige fabricagemethode voor het vervaardigen van dergelijke coatings ontstaan. Sindsdien wordt deze techniek op vele plaatsen toegepast.

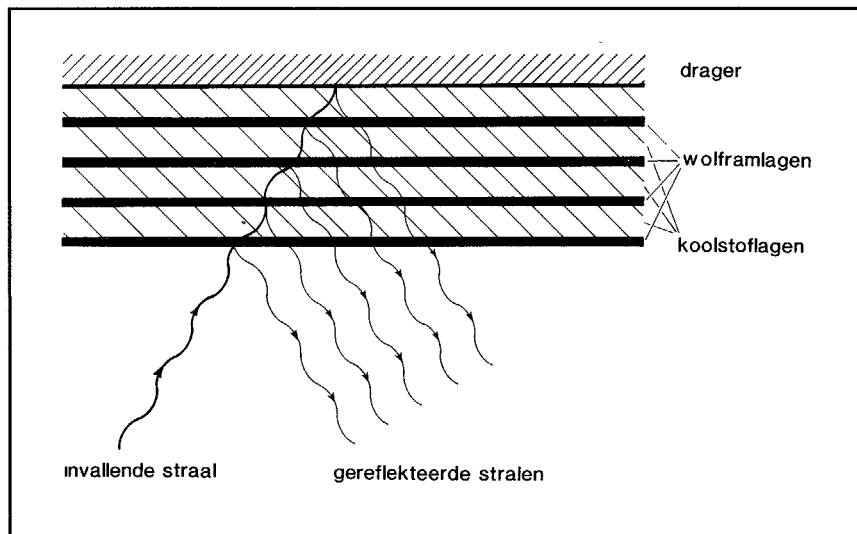
Als drager gebruikt men veelal siliciumschijven zoals die ook bij de halfgeleiderfabricage worden gebruikt. Dergelijke schijven zijn nauwkeurig parallel aan een roostervlak gezaagd en hebben een ruwheid beneden 0,5 nm.

Multilayers met meer dan 800 lagen worden op deze manier al geproduceerd. Hierbij worden reflecties tot 50% bereikt, en is bij gebruik als filter een golflengteselectiviteit  $\lambda/\Delta\lambda$  van ca. 300 mogelijk<sup>[2]</sup>. Als volgende stap is nu een programma gestart om met deze techniek parabolische spiegels en andere optische elementen te vervaardigen. In het kader daarvan is op het FOM-Instituut te Nieuwegein de hier beschreven opdampinstallatie ontworpen en gebouwd. Het specifieke probleem dat hierbij moest worden opgelost is, dat een veellaagscoating alleen reflecteert bij een bepaalde combinatie van golflengte en invalshoek. Dit maakt het in veel gevallen nodig om de laagdikten op diverse plaatsen op het oppervlak aan te passen aan de op die plaats te verwachten invalshoek van de straling.

Met de nu gebouwde installatie is het mogelijk deze in dikte verlopende lagen aan te brengen.

## Werkingsprincipe van de installatie

De inrichting van de installatie is flexibel van opzet, en afhankelijk van de vorm van de te coaten spiegel zijn diverse opstellingen mogelijk. De werking zal daarom worden beschreven aan de hand van een min of meer wille-



Figuur 1 Fysisch principe van een multilayer reflectiecoating

keurig voorbeeld, een "off-axis paraboloïde", een parabolische vorm waarbij de as buiten de spiegel ligt, zie *figuur 2*. De spiegel wordt in een houder zodanig opgespannen, dat hij met behulp van een aandrijving om zijn lichaamsas kan bewegen. Met een elektronenstraalverdamper wordt een dampstroom geproduceerd, die door een diafragma-systeem tot een bundel met een rechtehoekige doorsnede wordt gevormd. Voor de te coaten spiegel is een scherm geplaatst, waarin een spleet is uitgespaard, die zo is geprofileerd dat de breedte van de spleet op elk punt is aangepast aan de laagdikte die op dat punt moet worden aangebracht. Door nu de spiegel met een constante snelheid door de bundel te bewegen, en gedurende dit proces de intensiteit van de bundel constant te houden, kan een laag met een verlopende dikte worden aangebracht. Door dit steeds met twee verschillende materialen te herhalen, kan een veellaagscoating met verlopende dikte worden geproduceerd.

## Opbouw van de installatie

Een schetsmatige weergave van de opbouw van de installatie wordt gegeven in *figuur 3*. Het systeem bestaat uit twee afzonderlijke vacuümkamers, die elk hun eigen vacuümsysteem bezitten en via een klep met elkaar verbonden zijn. In het verbindingsstuk tussen de beide kamers zijn de bundeldiafragma's ondergebracht. Hierdoor is de pompgeleiding van de verbinding vrij slecht en wordt het mogelijk om differentieel te pompen.

In de onderste kamer is de werkdruk ongeveer  $10^{-6}$  mbar en zijn de elektronenstraalverdamper en toebehoren ondergebracht.

De bovenste kamer met een werkdruk van ongeveer  $10^{-8}$  mbar bevat de te coaten spiegel, het bewegingsmechanisme en de meetsystemen. Deze scheiding is bijzonder functioneel, omdat het op deze manier mogelijk wordt de verontreinigingen producerende verdamper te scheiden van spiegel en meetsystemen die een schone omgeving en een goed vacuüm verlangen. De onderste kamer is, om het schoonmaken te vereenvoudigen, uitgerust met gemakkelijk te demonteren O-ring afdichtingen, terwijl in de bovenste kamer zoveel mogelijk metaalafdichtingen zijn toegepast.

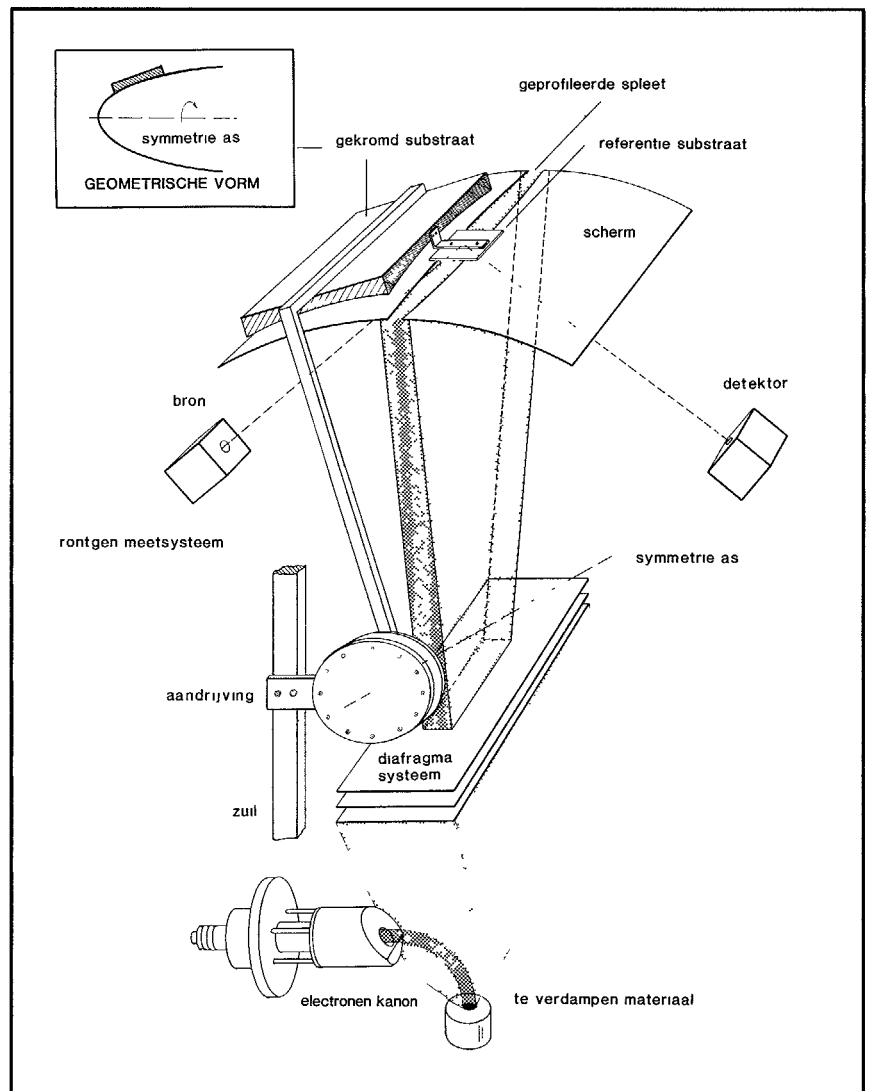
Om de temperaturen in het systeem laag te houden en op die manier de ontgassing te beperken, zijn rondom de elektronenstraalverdamper watergekoelde vlakken aangebracht. Ook is tussen de verdamper en de vacuümpomp een met vloeibare stikstof gekoelde koelval geplaatst waaraan condenseerbaar materiaal vastvriest. Hier-

door wordt enerzijds de druk in het systeem verlaagd, en anderzijds de pomp beschermd tegen vervuiling. Dergelijke maatregelen zijn met name bij het verdampen van koolstof bijzonder nuttig, omdat koolstofdamp gemiddeld pas na een aantal botsingen definitief aan een oppervlak blijft "plakken", en als gevolg hiervan sterk de neiging heeft om zich door de hele installatie te verspreiden. Door de genoemde maatregelen wordt bereikt dat de meeste verontreinigingen binnen de verdamperkamer blijven.

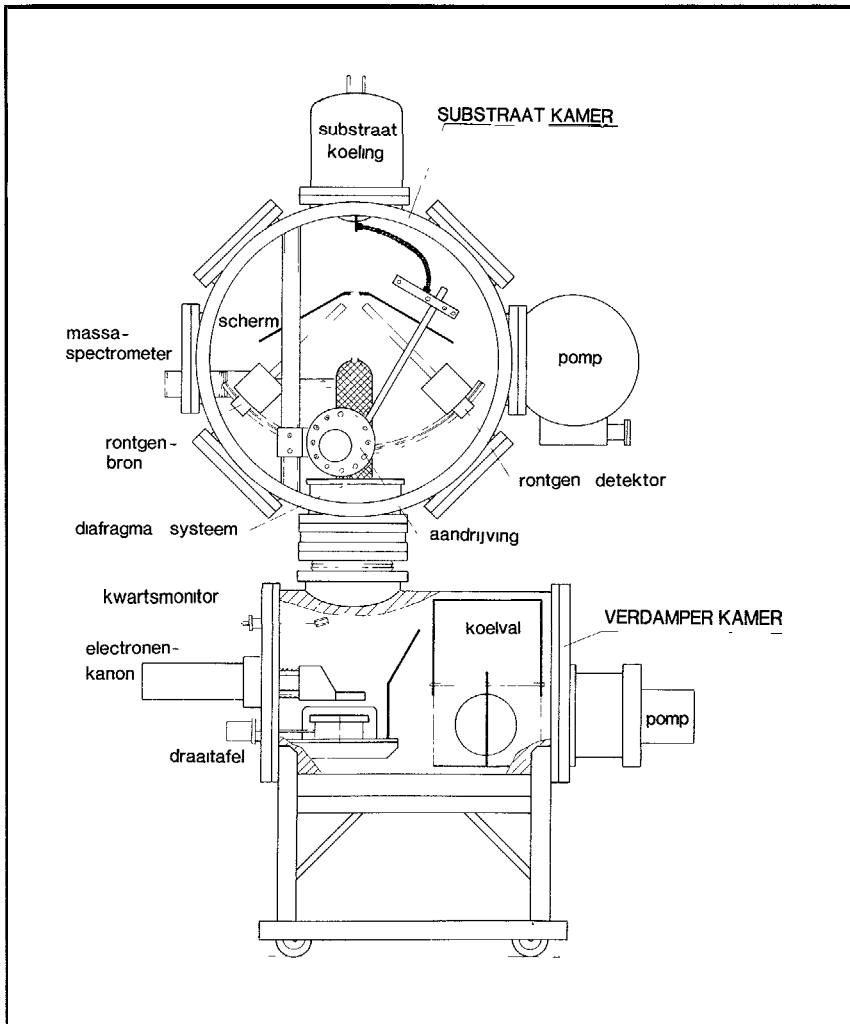
Ook ten aanzien van het elektronenkanon is veel aandacht besteed aan het tegengaan van vervuiling met koolstof. Als koolstof de kans zou krijgen om zich op de hoogspanningsisolatie van het kanon af te zetten geeft dit snel aanleiding tot overslagen en kortsluiting. Daarom is een type elektronenkanon toegepast, waarbij de enige verbinding tussen het hoogspanningscompartiment en de rest van de installatie bestaat uit een opening van  $\varnothing 3$  mm.

Onder de elektronenstraalverdamper bevindt zich een watergekoelde draaitafel waarop het te verdampen materiaal kan worden geplaatst. Omdat koolstof niet smelt maar vanuit de vaste fase sublimeert, zouden daarin bij het verdampen gemakkelijk grote kraters kunnen ontstaan. Door de draaitafel met daarop een grote schijf koolstof langzaam te laten roteren kan dit inbranden van kraters in het materiaal worden tegengegaan.

Veel aandacht is ook besteed aan de stabiliteit van de elektronenstraalverdamper. De voedingsspanningen worden geleverd door gestabiliseerde voedingen van het "switch-mode" type. Dergelijke voedingen zetten met behulp van halfgeleiderschakelaars de eerst gelijkgerichte netspanning om in een hoogfrequente wisselspanning, die vervolgens weer wordt omgezet in de gewenste uitgangsgelijkspanning. Deze omweg brengt het voordeel met zich mee van lage kortsluitpiekstromen en een uitstekende spannings- en



*Figuur 2* Schematische voorstelling van het procédé voor het aanbrengen van dunne lagen met verlopende dikte



Figuur 3 Opbouw van de installatie

stroomregeling Door de vooruitgang in de halfgeleidertechnologie vormen dergelijke voedingen tegenwoordig ook bij wat grotere vermogens een technisch en economisch aantrekkelijk alternatief voor traditioneel gebouwde voedingen

Nabij de te coaten spiegel wordt met een quadrupool-massaspectrometer

de intensiteit van de dampbundel gemeten Het uitgangssignaal hiervan stabiliseert via een regelkring de verdampingssnelheid van de verdampers Daarnaast is een meetsysteem aanwezig waarmee de dikte van de opgedampte laag kan worden gemeten, zodat de metaallagen ook inderdaad op de juiste plaats komen te liggen Het prin-

cipe van dit meetsysteem, waarmee dikten van de orde van 0,1 nm kunnen worden gemeten berust op de in *figuur 1* geschetste situatie Tijdens het opdampproces wordt een smalle bundel röntgenstraling op het oppervlak gericht.

Een deel van deze bundel wordt gereflecteerd en de intensiteit hiervan wordt met een detector gemeten Met het aangroeien van de laag vertoont de intensiteit van de gereflecteerde bundel minima en maxima aan de hand waarvan het moment kan worden bepaald waarop de juiste dikte is bereikt en op het andere materiaal moet worden overgeschakeld. Bij het coaten van een gekromde spiegel wordt deze meting niet aan de spiegel zelf gedaan, maar aan een ernaast opgesteld referentieplaatje Met behulp van het laagdiktemeetsysteem wordt de tijd bepaald die nodig is om op dit referentieplaatje een laag aan te brengen Vervolgens wordt deze tijd omgezet in een draaisnelheid van de spiegelhouder, waarna bij constante intensiteit van de bundel de gewenste laag, met een door de geprofileerde spleet bepaald dikteverloop op de eigenlijke spiegel wordt aangebracht

De besturing van het proces geschiedt geheel elektronisch met behulp van een personal computer Om te voorkomen dat storingen die geproduceerd worden door de hoogspanningsvoeding van de verdampers de besturing kunnen bereiken, zijn alle verbindingen tussen dit deel en de rest van de installatie uitgevoerd met glasvezelkabels

## Literatuur

- [1] Controlled fabrication of multilayer soft-X-ray mirrors, E Spiller, Appl Phys Lett 37(11), 1 Dec 1980, p 1048
- [2] Layered synthetic multilayers for high resolution X-ray reflection in the 6 to 8 keV region, E. Puik, SPIE, Vol 984, p 111

## "Efficient werkvoorbereiden in verspanende bedrijven"

"Toepassing van efficiënte werkvoorbereidingsmethoden kan in kleinere, verspanende metaalbedrijven leiden tot een sterk verbeterde proces- en produktkwaliteit, een hoger machinerendement en kortere doorlooptijden" Aldus het uitgangspunt voor een werkvoorbereidingsproject dat het Metaal Instituut TNO met een aantal bedrijven wil gaan uitvoeren In het

kader van dit gezamenlijke project worden werkvoorbereidings- en produktiemethoden die in grotere en gespecialiseerde bedrijven een succes zijn gebleken, tot toepassing gebracht in kleinere bedrijven Doel is de produktie in deze bedrijven beter beheersbaar te maken en mogelijkheden te scheppen voor verdere automatisering en een beter rendement

"Efficient werkvoorbereiden" wil in de deelnemende bedrijven binnen enkele maanden komen tot standaardisatie van werkmethoden en gereedschappen, toepassing van de juiste verspaningstechnische principes, en het "terugvindbaar" vastleggen van kennis

en ervaring Met de nu beschikbare methoden moet het mogelijk zijn af te komen van de situatie waarin de werkvoorbereiding elk nieuw produkt als een nieuw produktieprobleem ziet, waarvoor weer een nieuwe, unieke oplossing moet worden gezocht, met alle aanloopproblemen vandien

Het Metaal Instituut heeft in eerste instantie voor dit project zelf een aantal bedrijven benaderd, maar ook andere bedrijven kunnen nog inhaken Geïnteresseerden kunnen de folder "Efficient werkvoorbereiden" aanvragen bij ing J Koek, tel (055) 49 31 04.