

Nauwkeurig hoekmeets

voor gebruik in ultrahoog vacuüm

E. de Haas, W. Barsingerhorn, R.S. Mastenbroek, J. Sturre en J.F. van der Veen.

Met name in de oppervlaktefysica is er een toenemende behoefte aan nauwkeurige compatibele hoekmeetsystemen met stappen van een milligraad of kleiner in een ultrahoogvacuüm omgeving. Mogelijke toepassingen treft men thans vooral aan bij synchrotronstralingsfaciliteiten, zowel in het röntgendiffractie-onderzoek aan kristaloppervlakken als in de röntgenoptica, waar nauwkeurige hoekmeting van belang is voor het positioneren van röntgen-monochromatoren en spiegels. Een meetsysteem is ontwikkeld voor de uitlezing van de hoekstand van een goniometer in ultrahoogvacuüm (UHV). De hoekmeting geschiedt door het fotoelektrisch aftasten van een op de goniometer gemonteerde verdeelschijf.

Inleiding

Voor de hoekuitlezing van een nauwkeurige piezo-elektrisch aangedreven draaitafel [1,2] in (UHV) is een bestaand hoekmeetsysteem zodanig gewijzigd, dat dit aan de volgende eisen voldoet

- Uitlezing ter plaatse met een nauwkeurigheid ≤ 1 milligraad,
- Te gebruiken in een UHV-omgeving, dat wil zeggen lage ontgassing van de onderdelen en uitstootbaar tot ca. $150\text{ }^{\circ}\text{C}$,
- Geschikt voor inbouw in goniometers met meer assen.

Onlangs hebben H. Schief e.a. [3] een systeem beschreven dat op hetzelfde meetprincipe berust en tevens in UHV kan worden toegepast. De ontgassende onderdelen van het hoekmeetsysteem hebben zij ondergebracht in afgesloten ruimtes die apart worden afgepompt. Dit maakt het ontwerp ingewikkeld, waardoor aan de derde eis niet kan worden voldaan. Wij hebben gekozen voor een meer voor de hand liggende oplossing, alle sterk

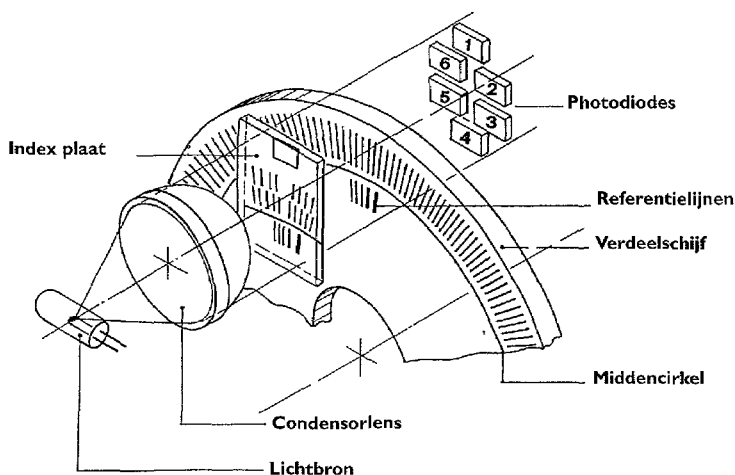
ontgassende onderdelen in het bestaande ontwerp hebben wij vervangen door uitstootbare UHV-materialen. Het door ons opnieuw ontworpen hoekmeetsysteem is met name van nut voor het uitlezen van diffractometer-cirkels in het röntgendiffractie-onderzoek aan kristaloppervlakken [4,5].

Hoekmeetsysteem

De werking van het hoekmeetsysteem berust op het fotoelektrisch aftasten van een lijnpatroon, zie figuur 1. Het patroon is aangebracht op een glazen verdeelschijf waarvan de draaias verbonden is met de goniometeras. Draaiing van de as resulteert in een periodiek varierend fotoelektrisch signaal dat elektronisch wordt omgezet in een trein van pulsen. Het aantal pulsen is evenredig met de hoekverdraaiing. Absolute hoekstanden worden verkregen door het aantal hoekincrementen te tellen ten opzichte van een referentie die tevens op de verdeelschijf is aangebracht. Incrementele hoekmeetsystemen van deze soort vinden wijdverbreid toepassing.

Voor onze toepassing zijn wij uitgegaan van het hoekmeetsysteem ROD-250 van Heidenhan, met 18000 lijnen langs de omtrek van de verdeelschijf ($\varnothing 64$ mm) [6]. De lijnen, die even breed zijn als de licht doorlatende spleten, zijn op de schijf aangebracht door opdampen van chroom (DIADUR proces, ontwikkeld door Heidenhan). Op een tweede spoor zitten enkele referentielijnen. Tegenover de draaiende schijf ligt een vaste glazen indexplaat, waarop vijf lijnpatronen zijn opgedampt. Vier lijnpatronen zijn identiek aan het patroon op de schijf. Zij zijn ten opzichte van elkaar verschoven met steeds een kwart van de afstand tussen twee lijnen, dat wil zeggen een kwart van de signaalperiode. Het vijfde patroon dient ter uitlezing van de referentie. De verdeelschijf en de indexplaat worden beschenen

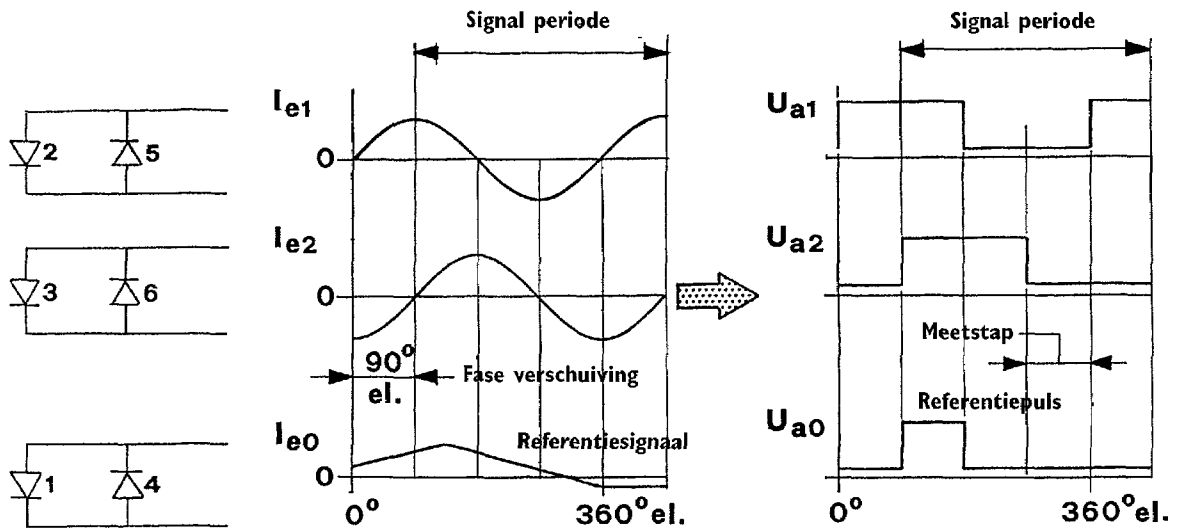
Figuur 1
Principe van het hoekmeetsysteem van Heidenhan



Nauwkeurig hoekmeetsysteem

Figuur 2

De fotoelektrische signalen (b) van de fotodiodeparen aangegeven in (a) De signalen na digitalisering zijn weergegeven in (c)

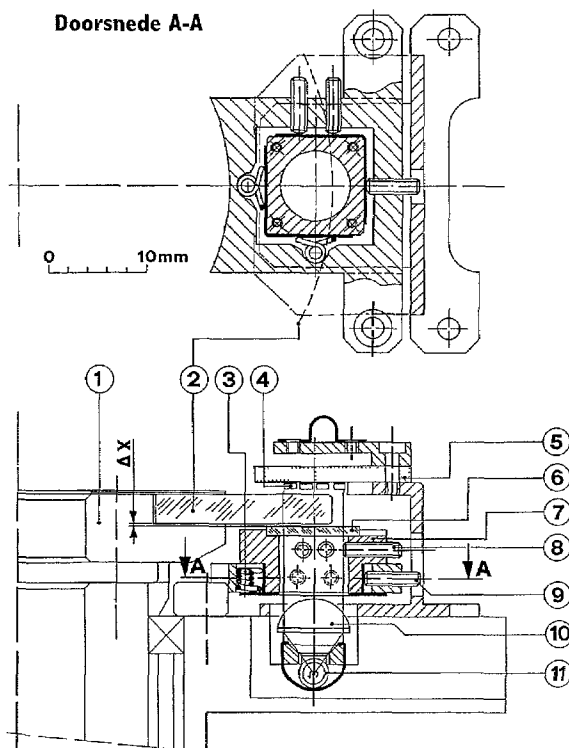


door een evenwijdige lichtbundel. Het doorgaande licht wordt gedetecteerd door fotodiodes die achter elk van de lijnpatronen op de indexplaat zijn opgesteld. Bij draaiing leveren de diodes drie periodiek variërende signalen, zie de figuren 2a en b. Het verschil van de signalen van diodes 2 en 5, die in tegenfase zijn, levert een achtergrondvrij signaal op dat sinusvormig is. Evenzo wordt een tweede sinusvormig signaal gevormd door de combinatie 3-6. Het laatste signaal is ten opzichte van dat van de combinatie 2-5 verschoven over 90° of -90° , al

naar gelang de draairichting. De combinatie 1-4 levert tenslotte een 'driehoekig' referentiesignaal. De sinusvormige signalen worden versterkt en door digitale technieken geïnterpoleerd. Hierna worden ze verwerkt tot blokvormige signalen en kunnen ze worden geteld. Zonder interpolatie, zie figuur 2c, bedraagt de resolutie een kwart van de signaalperiode, d.w.z. $360^\circ / (18000 \times 4) = 0,005^\circ$. Met een interpolatiefactor van bijvoorbeeld tien wordt een tienmaal hogere resolutie verkregen ($0,5$ milligrad).

Figuur 3

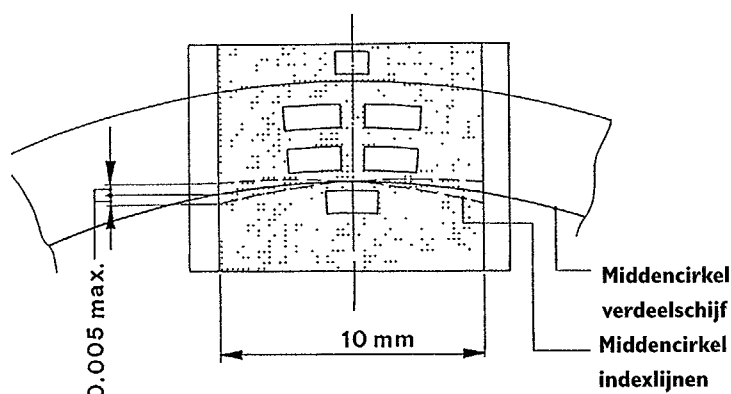
Constructie van het meetstelsel, aangepast voor gebruik in ultrahog vacuum (1) Centreerschijf van titanium, (2) verdeelschijf, (3) veer, (4) fotodiodes (6x), (5) Al₂O₃ substraat, (6) en (7) indexplaat met houder, (8) stelschroeven (5x) voor afstelling van de lichtsterkte die op de diodes valt, (9) stelschroeven voor het afstellen van de indexplaat, (10) condensorlens en (11) lamp



Aanpassing voor ultrahog vacuüm

Van de Heidenham ROD-250 zijn de volgende onderdelen gehandhaafd, zie figuur 3: verdeelschijf (2), indexplaat (6), condensorlens (10) en lamp (11). De overige onderdelen zijn vervangen door UHV-compatibele materialen die uitstootbaar zijn tot 150°C . De gewijzigde constructie en de montage bespreken we nu in meer detail. De verdeelschijf en de indexplaat zijn van glas G8/G10. Beide zijn voorzien van een centreercirkel, zie figuur 1 en 4. Onder een microscoop wordt de verdeelschijf met een nauwkeurigheid van $0,005$ mm gecentreerd, waarna de verdeelschijf met enkele druppels Epo-tek H61 [7] wordt vastgeklemd op de titanium centreerring (1). De lijm wordt uitgehard op 150°C . Er is voor een ring van titanium gekozen omdat dit materiaal ongeveer dezelfde thermische uitzettingscoëfficiënt heeft als glas. De indexplaat wordt op dezelfde wijze gelijkend op een titaniumhouder (7) en gecentreerd. De lijnpatronen op de verdeelschijf en de indexplaat kunnen op deze wijze worden uitgelijnd binnen ca. $0,06^\circ$, zie figuur 4. Met de stelschroeven (9) kan de indexplaat definitief worden afgesteld. De afstelling wordt vergemakkelijkt

Nauwkeurig hoekmeetsysteem



Figuur 4
Centreerfout van de indexploot ten opzichte van de verdeelschijf

door de aanwezigheid van beryllium-koper glijstrippen tussen de houder en de schroeven en klemveren (3). De afstand Δx tussen verdeelschijf en indexploot wordt met behulp van een roestvaststaal folie ingesteld op 0.05 ± 0.01 mm.

De houder van de lamp en de lens zijn gemaakt van Al-51ST, de overige onderdelen zijn van roestvaststaal AISI-304. De fotodiodes (4) worden met een geleidende lijm (Epo-tek H31D [7]) vastgehecht op een Al_2O_3 -substraat (5), waarop tevoren met behulp van een masker een goudpatroon is opgedampt. De diodes kunnen een temperatuur van $150^\circ C$ verdragen zonder dat hun functioneren bij kamertemperatuur nadelig wordt beïnvloed [8]. De gebruikte lijmverbindingen hebben een lage ontgassingswaarde en zijn bovendien in minime hoeveelheden toegepast.

Instelprocedure

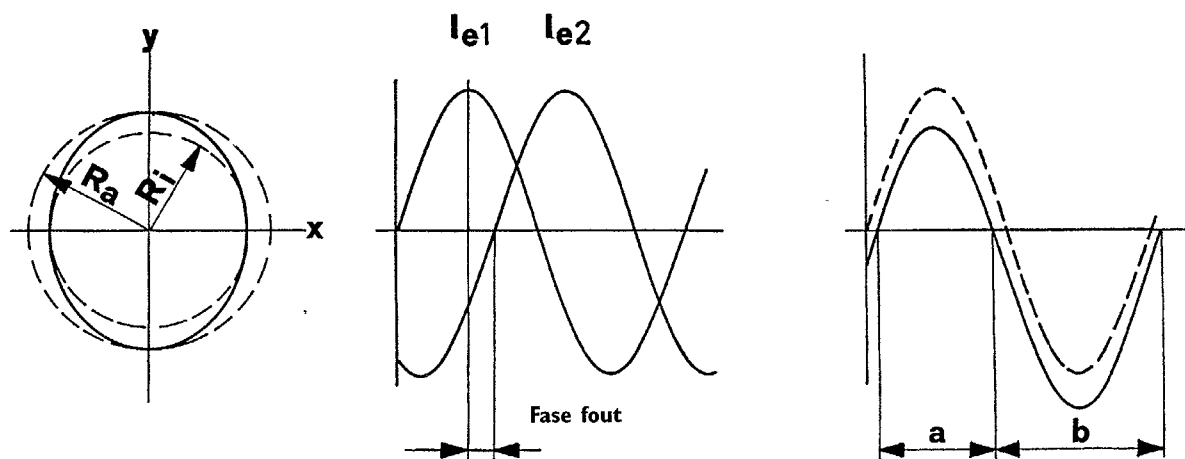
Het hoekmeetsysteem wordt ingeregeld met behulp van de Heidenhain Encoder Diagnose Set PWM7. De 90° fasehoek tussen de analoge elektrische stroomsignalen I_{e1} en I_{e2} van de diode-paren 2-5 en 3-6 mag een tolerantie

hebben van $\pm 10^\circ$ (zie figuur 5b). Dit geeft een afwijking van maximaal 1,5% van de signaalperiode. De verhouding a/b tussen de halve perioden van beide signalen (zie figuur 5c) mag niet meer afwijken dan $\pm 10\%$. Deze afstellingen kunnen worden geoptimaliseerd met behulp van de stelschroeven (8) die in de lichtbaan tussen de lamp en elk van de diodes gedraaid worden. Bovendien kan met de stelschroeven (9) de indexploot nauwkeurig worden gepositioneerd. Als we de signalen I_{e1} en I_{e2} langs de x- en y-assen van een oscilloscoop zetten, dan krijgen we bij een goede afstelling een zuivere cirkel (zie figuur 5a). De onrondheid van de cirkel, gedefinieerd als $(R_o - R_i) / 2\pi \cdot (R_o + R_i)$, mag niet groter zijn dan circa 1% van de signaalperiode. De diameter van de cirkel moet 4 volt zijn. Is deze te groot, dan kan de lichtsterkte worden verminderd door in serie met de lamp een weerstand van bijvoorbeeld 10Ω te plaatsen. Sommeren we bovengenoemde fouten en houden we tevens rekening met een mogelijke interpolatiefout van circa 1% van de signaalperiode, dan bedraagt de totale te verwachten 'korte-golf' fout circa $\pm 5,5\%$ van de signaalperiode. Dit komt neer op $\pm 5,5\%$ van $0,02^\circ (= 360^\circ/18000)$, dat wil zeggen $\pm 0,001^\circ$.

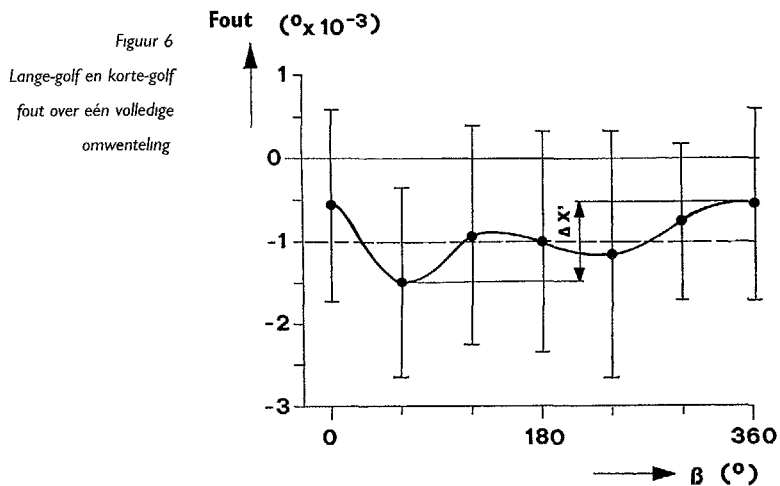
Testresultaten

Het hoekmeetsysteem wordt gemonteerd op de piezo-elektrisch aangedreven draaitafel [1,2]. De hoekverdraaiing wordt bepaald met een op het hoekmeetsysteem aangesloten tellereenheid van Heidenhain (type ND281). Tegelijkertijd wordt de hoekverdraaiing van een op de tafel gemonteerde facetspiegel uitgelezen met een autocollimator en vergeleken met de uitlezing van de tellereenheid. Voor elk segment van 60° van de facetspiegel is een gebiedje van ongeveer 0.4° in stappen van enkele duizendsten van een graad doorgemeten. We vinden op

Figuur 5
Foutenanalyse van de elektrische signalen (a) de 90° gedraaide signalen I_{e1} en I_{e2} , tegen elkaar uitgezet langs de x- en y-as, (b) fout in de fasehoek en (c) de verhouding a/b van de halve perioden



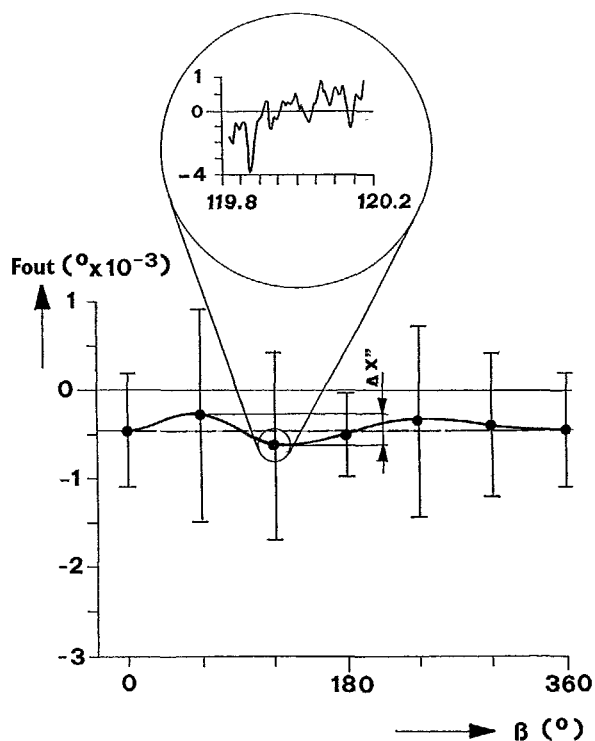
Nauwkeurig hoekmeetsysteem



deze wijze een korte-golf fout van iets minder dan $\pm 0,002^\circ$ en een lange-golf fout (Δx in figuur 6) van $\pm 0,0005^\circ$. De elektrische signalen hebben wij vervolgens ingevoerd in de PC-kaart IK121 van Heidenhain. Met de bijbehorende software kan de korte-golf fout gedeeltelijk uitgemiddeld worden en de lange-golf fout gekalibreerd, zodat de laatste kan worden geëlimineerd. Figuur 7 laat zien dat de lange-golf fout Δx is gereduceerd tot $\pm 0,0002^\circ$ en de korte-golf fout tot $\pm 0,001^\circ$.

Het hoekmeetsysteem is tenslotte, samen met de draaitafel, verscheidene malen zowel in lucht als in vacuüm uitgestookt tot 150°C . Dit had geen meetbare gevolgen voor de werking en de nauwkeurigheid van het systeem.

Figuur 7
Lange-golf en korte-golf fouten, na signaalverwerking door de Heidenhain PC kaart IK121



Conclusie

Het herontworpen meetsysteem voldoet aan de door ons gestelde eisen voor toepassing in UHV ($10^{-8} - 10^{-7}$ Pa). Het voldoet verder aan de specificaties, die de catalogus voor het Heidenhain ROD-2.50 systeem vermeldt [6].

Dankbetuiging

Wij danken I. Attema voor assistentie op elektronisch gebied. H. ter Horst bedanken wij voor het maken van het detectiegedeelte van het hoekmeetsysteem. Het hier beschreven werk maakt deel uit van het onderzoekprogramma van de Stichting voor Fundamenteel Onderzoek der Materie (FOM) en werd mogelijk gemaakt door financiële steun van de Nederlandse Organisatie voor Wetenschappelijk Onderzoek (NWO).

Auteursnoot

E. de Haas, W. Barsingerhorn en J. F. van der Veen zijn werkzaam bij FOM-Instituut voor Atoom- en Molecuulfysica, Kruislaan 407, 1098 SJ Amsterdam. J. F. van der Veen is tevens verbonden aan de Universiteit van Amsterdam, Van der Waals-Zeeman Laboratorium, Valkenierstraat 65, 1018 XE Amsterdam. R. S. Mastenbroek leverde zijn bijdrage als stagaire van de hogeschool Utrecht. J. Sturte is werkzaam bij Heidenhain Nederland B.V., Postbus 107, 3900 AC Veenendaal.

Literatuur

- [1] E. de Haas, W. Barsingerhorn en J. F. van der Veen, *Rev. Sci. Instrum.* 67 (1996), p. 1930.
- [2] E. de Haas, W. Barsingerhorn en J. F. van der Veen, *Micromek* 5 (1996) p. 142.
- [3] H. Schief, V. Marsico en K. Kern, *Rev. Sci. Instrum.* 67 (1996) p. 2026.
- [4] Zie bijv. R. Feidenhans'l, *Surf. Sci. Rept.* 10 (1989) p. 105.
- [5] M. Lohmeier en E. Vlieg, *J. Appl. Cryst.* 26 (1993) p. 706.
- [6] DR. JOHANNES HEIDENHAIN GmbH, D-8225 Traunreut, Duitsland. Vestiging in Nederland: HEIDENHAIN NEDERLAND B.V., Postbus 107, 3900 AC Veenendaal.
- [7] Epox Technology Inc., 65 Grove Street, Watertown, Mass. 02172, USA, vertegenwoordigd in Nederland door Koning & Hartman B.V., Beneluxweg 37, 4904 SJ Oosterhout.
- [8] Si-diode type OSD 2.5-5T, Centronic Limited, King Henry's Drive, Croydon CR9 0BG Engeland; vertegenwoordigd in Nederland door Landré-Intechmij B.V., Postbus 63, 4130 EB Vianen.