

# iTIRM: ruwheidsmetingen aan oppervlakken tijdens bewerking

Robert-Jaap M. van der Bijl, Delft Centre for Optical Surfaces (DeCOS)  
TNO-TPD, Stieltjesweg 1, 2600 AD Delft, E-mail: [bijl@optica.tn.tudelft.nl](mailto:bijl@optica.tn.tudelft.nl)

Hedser van Brug, Sectie Optica, Technische Universiteit Delft,  
Lorentzweg 1, 2628 CJ Delft

Olivier W. Föhnle, Fisba-Optik, St. Gallen, Zwitserland

## 1. Inleiding

Het fabriceren van optische elementen zoals lenzen en spiegels gebeurt door glas-oppervlakken te bewerken met slijp- en polijstprocessen. Eerst wordt door middel van slijpen de vorm van het oppervlak gemaakt; hierbij ontstaan ook kleine scheurtjes onder het oppervlak, de zogenaamde 'subsurface damage' (SSD). Na het slijpen wordt het oppervlak gepolijst om het glad te maken en de SSD te verwijderen. Om de fabricage van optische elementen te verbeteren is het detecteren en meten van de ruwheid en SSD tijdens het slijpen en polijsten gewenst.

Voor het meten van ruwheid bestaan er al methoden, bijv. verstrooiingsmetingen<sup>1</sup>. De meest gebruikelijke methode om SSD te meten is dimpling<sup>2</sup>. Bij dimpling wordt met een stalen kogeltje een kuiltje (dimple) in het oppervlak gepolijst en onder een microscoop wordt de breedte van de SSD-laag gemeten en uit deze breedte kan de dikte van de SSD-laag berekend worden. Een groot nadeel van dimpling is dat het een destructieve methode is.

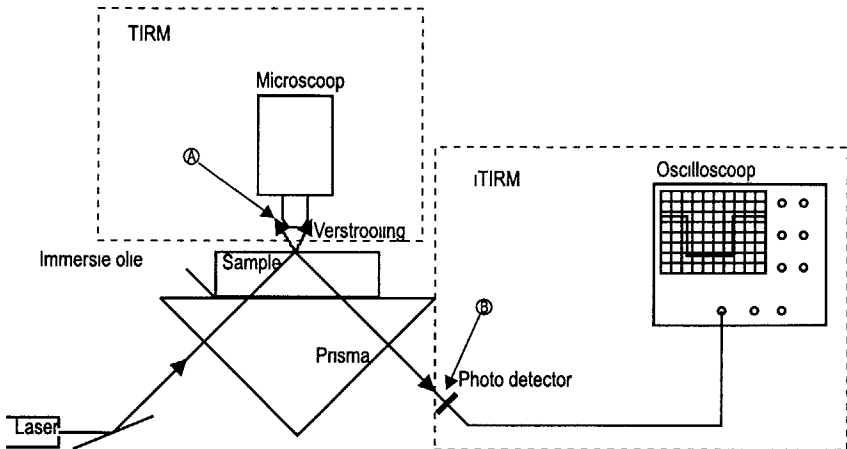
De methode die wij presenteren, afgeleid van TIRM<sup>3</sup> (Totale Interne Reflectie Microscopie), is een niet-destructieve en kwantitatieve meetmethode genaamd iTIRM (intensiteit detecterende TIRM), die naast ruwheid en SSD ook krassen en kuilen in het oppervlak kan detecteren. De iTIRM meetmethode meet de totale oppervlakte

kwaliteit in één signaal.

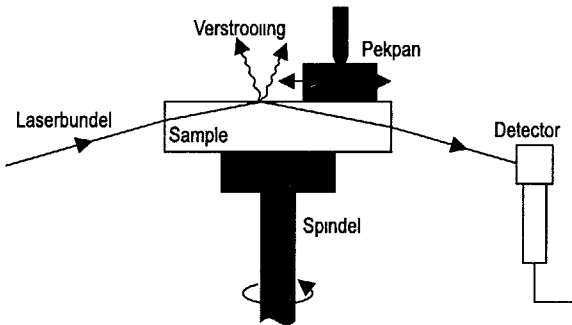
In het volgende presenteren wij het principe van iTIRM in vergelijking met TIRM en geven enkele meetresultaten. Ook laten we zien dat iTIRM gebruikt kan worden als in-situ meetsysteem tijdens polijsten en slijpen en tonen daar ook meetresultaten van die aangeven dat iTIRM in staat is om de verandering van de oppervlakte kwaliteit te meten tijdens het slijp en polijst proces.

## 2. iTIRM

Zowel bij iTIRM als bij TIRM valt een laserbundel van binnen uit op het te onderzoeken oppervlak van een transparant optische element. Dit gebeurt met behulp van een koppel prisma en olie om de brekingsindices op elkaar aan te passen, zoals aangegeven in Figuur 1. Als de invalshoek van de laserbundel groter is dan de kritieke hoek, dan zal er totale interne reflectie optreden aan het te onderzoeken oppervlak. Defecten aan of in de buurt van het oppervlak zullen verstrooiing van het licht veroorzaken en de bundel zal dus niet meer totaal gereflecteerd worden. Bij TIRM wordt het verstrooide licht gedetecteerd met behulp van een microscoop boven het punt van reflectie. Bij iTIRM wordt echter de intensiteit van de gereflecteerde bundel gemeten, vandaar de naam intensiteit detecterende TIRM, en de gemeten intensiteit zal lager zijn als er licht aan het



**Figuur 1:**  
TIRM en iTIRM meetopstelling



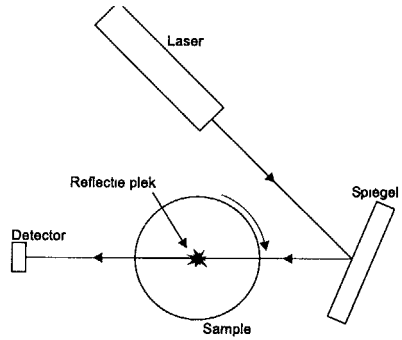
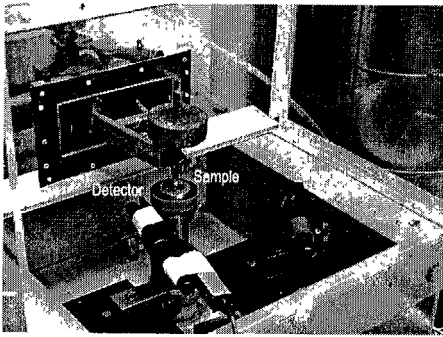
**Figuur 2:**  
Meetopstelling voor in-situ iTIRM metingen. De detector is op een oscilloscoop aangesloten.

oppervlak verstrooid wordt. Door de laser (plaats van reflectie) over het oppervlak te scannen kunnen de defecten worden gelocaliseerd.

In Figuur 1 is duidelijk het verschil tussen TIRM en iTIRM te zien; TIRM heeft zijn detector bij (A) boven het oppervlak en iTIRM bij (B) weg van het oppervlak. Een voordeel van iTIRM boven TIRM is dat de fotodetector de mate van verstrooiing direct omzet in

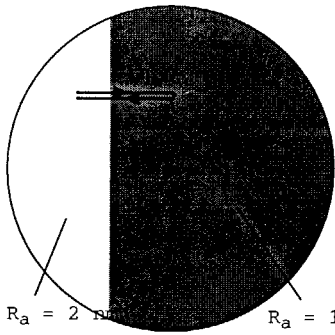
een elektrisch signaal. Dit iTIRM signaal kan vergeleken worden met signalen van oppervlakken met bekende referentie vlakken waardoor een kwantitatieve maat van de oppervlakte kwaliteit gegeven kan worden.

Een volgend voordeel is dat bij iTIRM het oppervlak zelf vrij blijft voor bewerking, zodat het ook geschikt is om tijdens het slijpen en polijsten de verandering in de

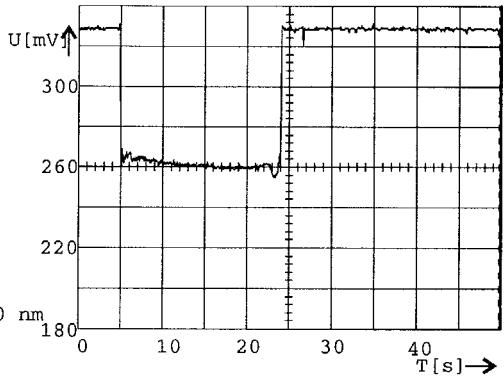


**Figuur 3:**

(a) Slijp- en polijstbank met iTIRM. De laser bundel komt van achter binnen en wordt via de spiegel naar het sample geleid. (b) Boven-aanzicht van de meetopstelling.



(a)



(b)

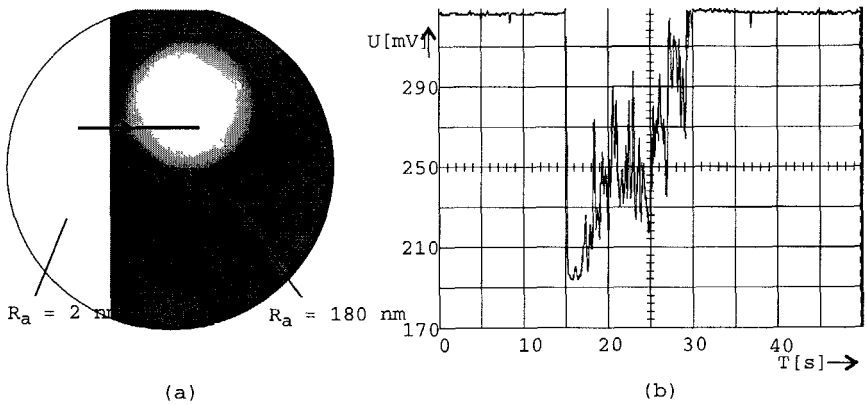
**Figuur 4:**

(a) Sample met gepolijste (wit) en geslepen (grijs) delen en het spoor van de laser; (b) meetresultaat van de intensiteitsmeting

kwaliteit van het oppervlak te meten. Bij het slijpen kan men hiermee de procesparameters onderzoeken om het proces te optimaliseren, bij polijsten kan men kijken of het oppervlak al voldoende glad is en of de SSD al is verdwenen.

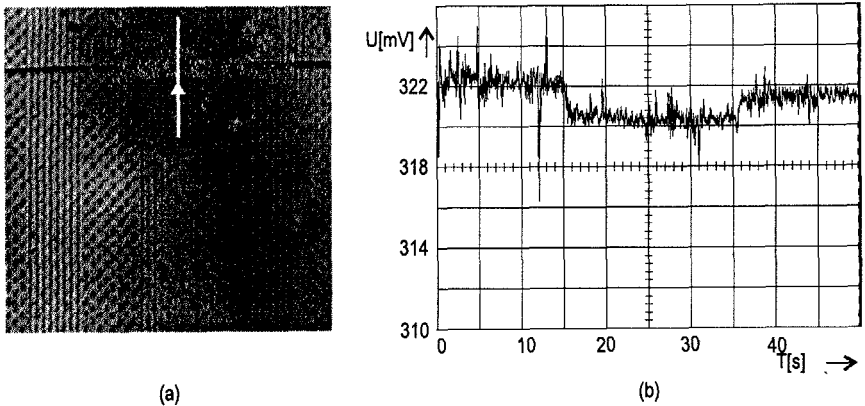
Voor het in-situ meten is de iTIRM opstelling aangepast zoals te zien is in de Figuren 2 en 3. Omdat het sample aan de onderkant op de spindel is geplakt

wordt de laserbundel via de zijwand in het sample gekoppeld, de wand is hiervoor speciaal gepolijst. De samples waren ongeveer 1 cm dik en hadden een diameter van ongeveer 5 cm, waardoor de invalshoek ongeveer 80° werd. Het gevolg hiervan was dat de reflectie plek erg werd uitgerekt, dit had echter geen nadelige invloed op de meting omdat de polijst en slijp processen als uniform werkend over het



**Figuur 5:**

(a) Sample met gepolijste (wit) en geslepen (grijs) delen en het spoor van de laser; (b) meetresultaat van de intensiteitsmeting.



**Figuur 6:**

(a) Opname van een kras in het oppervlak met TIRM; (b) Meetresultaat met iTIRM waarbij de laser over de kras werd gescand zoals aangegeven door de pijl in (a)

oppervlak kunnen worden beschouwd en elk punt van het oppervlak dus als gelijkwaardig kan worden beschouwd.

### 3. Meetresultaten

De eerste experimenten met iTIRM werden uitgevoerd met de opstelling zoals aangegeven in Figuur 1. De laser werd over een sample gescand waarvan een deel van het

oppervlak was gepolijst en een ander deel alleen was geslepen. Het gepolijste deel heeft een gemiddelde ruwheid ( $R_a$ -waarde) van 2 nm en het geslepen deel een  $R_a$  van ongeveer 180 nm. Het sample en het resultaat van de meting zijn te zien in Figuur 4. Duidelijk is te zien dat iTIRM de overgangen tussen gepolijst en geslepen oppervlakken kan detecteren.

Bij het volgende experiment werd een stukje van het geslepen oppervlak gepolijst waardoor een gradiënt in de ruwheid van het oppervlak ontstaat, zoals schematisch is weergegeven in Figuur 5 (a). In Figuur 5 (b) is te zien dat het iTIRM signaal stijgt bij afnemende ruwheid, hetgeen aangeeft dat iTIRM bruikbaar is voor het kwantificeren van oppervlaktekwaliteiten.

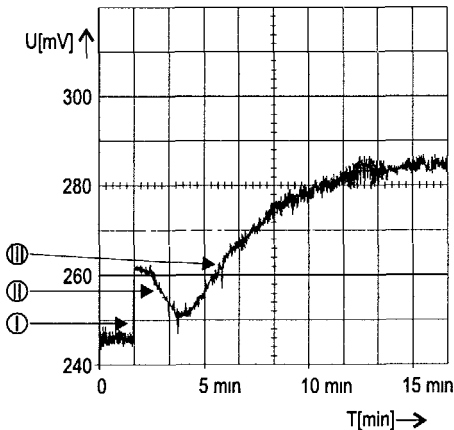
In Figuur 6 wordt het detecteren van een kras getoond; in Figuur 6 (a) wordt een opname met een Nomarski microscoop getoond van een kras in een gepolijst oppervlak met verstrooiing van de laserbundel zoals gebeurt bij TIRM; Figuur 6 (b) toont het resultaat van de iTIRM-meting wanneer de laser over de kras wordt bewogen.

Vervolgens werden er in-situ metingen uitgevoerd met de opstelling zoals weergegeven in de Figuren 2 en 3. Om te voorkomen dat smurrie (een mengsel van water van slijp of polijst deeltjes) door de bundel zou stromen is de rand van het sample afgeplakt met plakband zodat de smurrie op het sample blijft liggen.

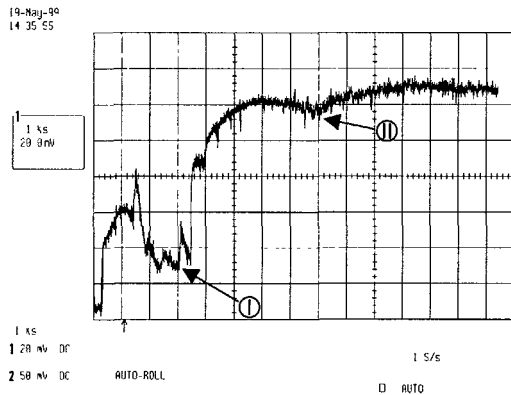
Doel van de metingen was het aantonen van de mogelijkheid om met iTIRM de verandering in oppervlakte kwaliteit tijdens

het slijpen en polijsten te detecteren. De hoogte van het iTIRM signaal relateren aan oppervlakte parameters als gemiddelde ruwheid of correlatielengtes viel buiten dit onderzoek.

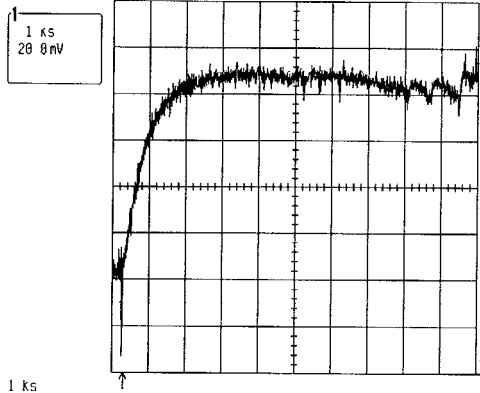
Het eerste proces dat onderzocht werd was het fijn slijpen van een grof geslepen BK7-oppervlak. De hoeksnelheid van de spindel was  $2\pi \text{ rads}^{-1}$  en de druk was ongeveer  $10^3 \text{ Pa}$ . Het meetresultaat is te zien in Figuur 7. De stap bij (I) komt door de vermindering van de verstrooiing ten gevolge van het toevoegen van de smurrie. Het waterlaagje zorgt voor een glad oppervlak op het sample. Door het bewerken met de slijppan wordt de waterlaag tussen de pan en het sample weer dunner en zorgt de ruwheid van het oppervlak voor steeds meer verstrooiing, dit duurt ongeveer twee minuten [Figuur 7(II)]. Hierna stijgt het iTIRM signaal weer (III) door de afname van de ruwheid. In het begin is de stijging het snelst om dat de hoogste pieken in het oppervlak het eerst verwijderd worden terwijl die het meest bijdragen aan de verstrooiing. De afname van de ruwheid gaat daarna steeds trager omdat daarvoor steeds meer materiaal verwijderd moet worden, tot dat de minimale ruwheid voor



**Figuur 7:** Resultaat van in-situ iTIRM-meting aan een fijnslijp proces.



**Figuur 8:** Resultaat van in-situ iTIRM-meting aan een drooggelopen polijstproces.



### Figuur 9:

Resultaat van in-situ iTIRM-meting aan een normaal verlopen polijstproces

het betreffend proces is bereikt, alwaar de grafiek horizontaal gaat lopen.

Het volgende experiment was het polijsten van een BK7 sample. De meetresultaten van de eerste poging daartoe zijn getoond in Figuur 8. Bij (I) is een lichte afname zichtbaar in de intensiteit van het iTIRM signaal dat gevolgd wordt door een onregelmatig verlopend deel met lage intensiteit (II). Dit werd veroorzaakt door het drooglopen van het polijstproces. Na toevoegen van smurrie herstelde het proces zich weer, zoals men kan zien in Figuur 8. Bij (III) is er weer een vermindering in de intensiteit, waarop adequaat werd gereageerd door het toevoegen van nieuwe smurrie waardoor de eerder getoonde problemen werden voorkomen. Vervolgens werd het experiment nog een keer herhaald waarbij het terugvallen van de intensiteit werd gebruikt als waarschuwings-signaal voor het toevoegen van smurrie. Het resultaat hiervan is te zien in Figuur 9, tussen de 130 en 160 min zijn duidelijk en-

kele momenten te zien waar drooglopen van het proces werd voorkomen met behulp van het iTIRM signaal.

### 4. Conclusies

Met iTIRM kunnen op een niet-destructieve en kwantitatieve wijze verschillende oppervlakte defecten gedetecteerd en gemeten worden, die de kwaliteit van het oppervlak en daardoor de kwaliteit van een optisch element bepalen. In één signaal kunnen ruwheid, SSD en krassen gedetecteerd en gelokaliseerd worden. Bovendien is iTIRM bruikbaar voor in-situ metingen van slijpen en polijstprocessen zodat deze onderzocht en gecontroleerd kunnen worden, voorbeelden hiervan zijn het stoppen van het proces als het iTIRM signaal niet meer stijgt en slurry toevoegen als het signaal inzakt door droog lopen.

Hoewel wij iTIRM alleen nog maar gebruikt hebben voor vlakke oppervlakken kan het ook gebruikt worden voor gekromde oppervlakken, zolang er maar een gereflecteerde bundel op de detector valt.

### 5. Dankwoord

De auteurs willen Indro Partosoebroto en Rob Kuiper bedanken voor het vervaardigen van de samples en het helpen uitvoeren van de slijp- en polijstprocessen.

### Referenties

1. J.C. Stover, "Optical scattering: measurement and analysis", SPIE Optical Engineering Press, Bellingham, Wash., 1995.
2. L. Dettmann, "Estimation of subsurface damage depth by dimpling", in *Science of Optical Finishing*, Vol. 9 of OSA 1990 Technical Digest Series (Optical Society of America, Washington, D.C., 1990), pp. 52-56.
3. P. Temple, "Total Internal Reflection Microscopy: A Surface Inspection Technique," *Appl. Opt.* **20**, 2656-2664 (1981).