



University of Groningen

Surface roughness and spectral selectivity

Heereveld, Alexander Antoon Maria Theresia van

IMPORTANT NOTE: You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.

Document Version

Publisher's PDF, also known as Version of record

Publication date:

1988

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

Citation for published version (APA):

Heereveld, A. A. M. T. V. (1988). Surface roughness and spectral selectivity. Drukkerij van Denderen.

Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

Take-down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.

De meest gebruikte methode om zonneenergie nuttig bruikbaar te maken, is de omzetting van zonnestraling in warmte. Bij deze omzetting treden verliezen op via geleiding, convectie en straling. Geavanceerde zonnecollectoren, m.n. vacuumgeïsoleerde buiscollectoren, zijn zodanig geconstrueerd, dat de verliezen via geleiding en convectie minimaal zijn. Als belangrijkste verliespost blijft dan het verlies door warmtestraling over. Dit stralingsverlies kan sterk worden gereduceerd door de collector te voorzien van een zgn. spectraal selectief oppervlak. Een spectraal selectief oppervlak paart een hoge absorptiefactor voor zonnestraling aan een lage emissiefactor voor warmtestraling. Vooral bij hogere temperatuur is een lage emissiefactor van groot belang.

Er zijn vele methodes om een spectraal selectief oppervlak te maken. Naast de materiaaleigenschappen speelt de ruwheid van het oppervlak een zeer belangrijke rol in het verkrijgen van optimale eigenschappen. Deze ruwheid moet dimensies hebben die in de orde van grootte liggen van de golflengtes van zonnestraling. Ruwheid met dergelijke afmetingen verhoogt de absorptiefactor voor zonnestraling zonder ook de emissiefactor voor warmtestraling te verhogen. Dit gegeven is uit de praktijk bekend, maar de fysische achtergrond wordt nog slecht begrepen.

In dit proefschrift wordt een onderzoek beschreven naar de effecten van ruwheid op de optische eigenschappen van een oppervlak. Dit thema is overigens niet alleen belangrijk voor spectraal selectieve oppervlakken, maar speelt ook in vele andere toepassingen van optica een rol. Het onderzoek is gemengd theoretisch - experimenteel opgezet. Met gebruik van een aantal verschillende theoretische benaderingen wordt de invloed van de oppervlakteruwheid op de spectraal selectieve eigenschappen van een oppervlak verklaard. Naast het fundamentele aspect van het onderzoek speelt ook praktische toepassing een rol. De spectraal selectieve eigenschappen van in onze groep ontwikkelde tandem absorbers, bestaande uit een dunne titanium- of chroomnitride of

afmetingen heeft in de grootte-orde van de golflengtes van zonnestraling. Dergelijke koperoppervlakken blijken galvanisch te kunnen worden gemaakt via vrij eenvoudige modificaties van standaard galvaniseringsprocessen.

Het spreekt vanzelf, dat nauwkeurige metingen van de oppervlakteruwheid essentieel zijn voor het onderzoek. Gebruikelijke methodes om oppervlakteruwheid te meten leveren onvoldoende informatie. Alleen met stereo electronenmicroscopie kunnen zowel de breedtes als de dieptes exact worden gemeten. Deze methode is gebruikt om de ruwheid van koperoppervlakken met gevarieerde structuur te meten. Voor het beschrijven van de ruwheid wordt een eenvoudig statistisch model gebruikt, waarin een karakteristieke breedte en karakteristieke diepte als parameters voorkomen.

Er zijn uitgebreide optische metingen gedaan aan series ruwe koperoppervlakken, zowel zonder coating als met coating. Om te beginnen zijn aan series ruw koper met verschillende oppervlaktestructuur bidirectionele reflectiemetingen gedaan als functie van de golflengte. Deze metingen geven de hoekverdeling van (min of meer diffuus) verstrooide straling. Het spectraal selectieve gedrag van de verstrooiing (diffuus in het zonnenspectrum, spiegelend in het infrarood) dat uit de theoretische berekeningen naar voren kwam, wordt experimenteel volledig bevestigd. Er is een goede overeenkomst tussen theorie en experiment te zien m.b.t. de invloed van de ruwheidsdimensies en de stralingsgolflengte.

Metingen van de reflectie van ruw koper als functie van de golflengte tonen ook duidelijk het spectraal selectieve effect van ruwheid met de juiste afmetingen aan. De optimale ruwheid heeft een correlatielengte (karakteristieke breedte) rond $0.5 \mu\text{m}$ en een rms diepte rond $0.2 \mu\text{m}$, wat een karakteristieke top-top diepte van ook ongeveer $0.5 \mu\text{m}$ betekent. In het zonnenspectrum wordt door een dergelijke ruwheid de reflectie sterk verlaagd, terwijl de reflectie in het infrarood vrijwel niet wordt beïnvloed. Dit betekent een verhoging van de absorptiefactor zonder verhoging van de emissiefactor. Grotere afmetingen van de ruwheid, m.n. te grote dieptes, veroorzaken een ongewenste emissietoename. Grotere dieptes geven meer absorptieverhoging in het zonnenspectrum, grotere breedtes doen dit effect echter weer teniet.

Reflectiemetingen aan ruwe koperoppervlakken met een coating geven dezelfde trends te zien als metingen aan ongecoat koper.

Uit de reflectiemetingen is de absorptiefactor als functie van de ruwheid bepaald. Ter controle is de absorptie ook direct gemeten. De emissie is alleen direct gemeten, omdat deze i.h.a. te laag is om nauwkeurig uit de reflectie te worden bepaald. Het gemeten effect van oppervlakteruwheid op de absorptie van koper met een TiN_xO_y laag komt zeer goed overeen met de theoretische berekeningen met het traliemodel (Fig. 5.34). Daarnaast komt het gemeten effect van de ruwheid op de emissie van koper (zonder coating of met coating) goed overeen met de berekeningen met de gradient benadering (Fig. 5.31). Gezamenlijk beantwoorden deze resultaten uitstekend aan de fundamentele doelstellingen van het onderzoek.

Naast de bovengenoemde meer fundamentele resultaten, zijn er ook goede praktische resultaten geboekt met het optimaliseren van tandem absorbers door toepassing van een ruw substraat. Er zijn verschillende uitstekende spectraal selectieve oppervlakken gerealiseerd. Een ruw substraat met rms diepte (karakteristieke diepte) $\sigma = 0.19 \mu\text{m}$ en correlatielengte (karakteristieke breedte) $\tau = 0.44 \mu\text{m}$ geeft voor TiN_xO_y op koper een absorptiefactor $\alpha = 0.89$ bij een normale emissie $\epsilon_n(140^\circ\text{C}) = 0.03$, tegen $\alpha = 0.80$, $\epsilon_n(140^\circ\text{C}) = 0.024$ op glad koper. De theoretische berekeningen suggereren dat met een diepere ruwheid een nog verdere optimalisatie mogelijk moet zijn. Voor een $\text{CrN}_x\text{-CrO}_y$ dubbellaag op koper geeft een substraat met ruwheid $\sigma = 0.15 \mu\text{m}$, $\tau = 0.44 \mu\text{m}$ een excellente $\alpha = 0.95$ en $\epsilon_n(140^\circ\text{C}) = 0.028$, tegen $\alpha = 0.90$ en $\epsilon_n(140^\circ\text{C}) = 0.025$ bij gebruik van een glad substraat. Met deze resultaten is ook wat betreft de praktische kant van het onderzoek goed aan de doelstellingen voldaan.