

Nyt optisk måleinstrument til indlejrede nanostrukturer

Af P.E. Hansen, Kai Dirscherl og Jørgen Garnæs, Dansk Fundamental Metrologi

Udmåling af geometrier og dimensioner i nanometerskala er ikke noget nyt for det danske nationale metrologi-institut Dansk Fundamental Metrologi (DFM). Størrelser som liniebredde, stephøjde og gitterperioder måles med et metrologisk Atomic Force Mikroskop med nanometer nøjagtighed. Nu er der kommet et nyt Optisk Difraktions Mikroskop ind i instrumentparken, udviklet og patenteret på DFM. Takket være dens optiske arbejdsmåde kan man også udmåle strukturer som er indlejret i for eksempel et beskyttelseslag.

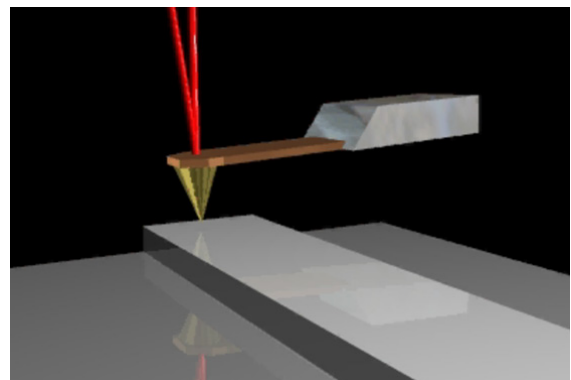
Om Dansk Fundamental Metrologi

DFM driver forskning indenfor udvalgte emner under overskrifterne elektricitet, optik, nanometrologi og matematiske metoder med det formål at sikre, at dansk metrologi til stadighed befinder sig på et internationalt anerkendt videnskabeligt niveau. DFM udvikler og vedligeholder normaler indenfor længde inklusiv topografi af overflader, og er af Sikkerhedsstyrelsen udpeget som dansk primærlaboratorium inden for masse, DC elektricitet, længde samt optisk radiometri. Der er i år etableret et samarbejde – kaldet Dansk Primær Laboratorium for Længde (DPLL) – mellem Teknologisk Institut, DTU-Mekanik og DFM til at løse opgaven som nationalt metrologi-institut for længde. DPLL skal styrke forskning, udvikling, vedligeholdelse, videnshjemtagning og videregivelse af metrologisk sporbarhed på højeste niveau i det danske kalibreringshierarki til gavn for erhvervsliv og offentlige institutioner. Videregivelse af sporbarhed på højeste internationale niveau betyder, at kalibreringer – gennem en ubrudt kæde af sammenligninger – kan relateres direkte til definitionen af en meter. For eksempel på DFM realiseres en meter som bølgelængden af det lys der kommer fra en iod-stabiliseret helium-neon laser.

Nanometrologi

Længdemålinger på nanometer (nm) niveau (1 nm = 0,000001 mm) laves på DFM i et Atomic Force Mikroskop (AFM), hvor en laser-detekteret spids skanner en overflade, se figur 1. Dette sker med en opløsning på en brøkdel af en nanometer¹. DFM har et avanceret AFM med afstandssensorer der er konstrueret til ultranøjagtig udmåling af overflader. Indenfor kvalitetskontrol anvendes AFM'et også når dimensioner skal dokumenteres i form af et kalibreringscertifikat for diameteren af nanopartikler, ruheden af en overflade, dybden af en grøft eller perioden af et gitter. Nanoteknologi er et vigtigt forskningsområde og finder i

stigende grad også anvendelse i industrielt fremstillede produkter. Så betydningen af sporbar karakterisering af nano- og mikrostrukturer er stor og efterspørgslen må forventes at stige fremover. DFM's AFM understøtter forskning i nanoteknologi og dermed dansk innovation indenfor nanoteknologi.



Figur 1. Måleprincippet i et atomic force mikroskop: En spids skanner emnets overflade, mens en laser detekterer spidsens højdeændring.

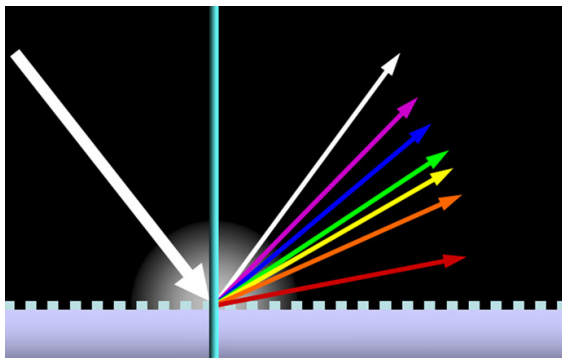
Nyt patenteret måleinstrument til nanostrukturer: ODM

Proces og kvalitetskontrol af optiske gitre² med perioder i mikrometer- til nanometerområderne spiller en stor rolle i fremstilling af optoelektroniske, optiske og mikroelektroniske komponenter. I Danmark eksisterer såvel fabrikanter som brugere af sådanne strukturer. Standard kvalitetskontroludstyr som Skanning Elektron Mikroskop (SEM) og Atomic Force Microscope (AFM) kan måle topografien men ingen af disse måleinstrumenter er designet til et produktionsmiljø. Et SEM kræver at prøven ødelægges før man kan observere og udmåle topografien. Et AFM måler et meget begrænset område af gitteret og er yderligere begrænset af nålens form, hvilket gør at det rå billede ikke viser den sande topografi.

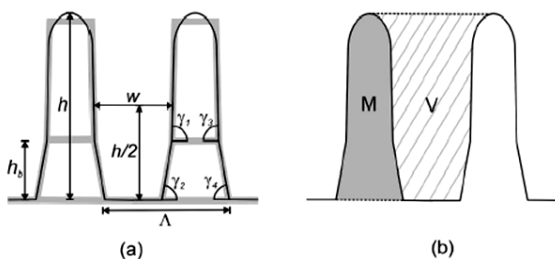
¹I et AFM bevæges probespidsen med en nøjagtighed bedre end 0,1 nanometer ved hjælp af et piezoelektrisk ophæng. Et piezoelektrisk materiale er et der ændrer størrelse, fx tykkelse, når det påtrykkes en spænding.

²Gitrene er overflade-reliefgitre ætset i fused silica (amorf kvarts) fra Ibsen Photonics. De fremstilles ved at et tyndt lag fotoresist lægges ovenpå en flad skive af fused silica der derefter belyses ved hjælp af stående bølger fra laserlys. Ved fremkaldelse af fotoresisten forsvinder fotoresisten på de steder hvor intensiteten af laserlys har været høj og det dannede gittermønster i fotoresisten bruges herefter som en maske til at ætse gitterets fordybninger ned i materialet.

Optisk Diffraction Mikroskopi (ODM) er en patenteret teknik (Patent-Nr.: US 7,321,433) specielt udviklet på DFM til hurtige målinger i et produktionsmiljø. ODM muliggør testning af hver enkelt prøve frem for stikprøvekontrol, hvilket giver en forbedret kvalitetskontrol og det formindsker spildprocenten. Et ODM gør brug af den egenskab at linieformen af et gitter giver et entydigt spektrum, når det bliver belyst med hvidt lys, se figur 2.



Figur 2. Måleprincippet i et Optisk Diffraktions Mikroskop. Hvidt lys brydes ved et gitter i et entydigt spektrum, som indeholder data om gitterets geometri, materiale og brydningsindeks.



Figur 3. (a) Illustration af profil (tynd streg) og af dobbelt trapez profil (tyk streg). Sidstnævnte er givet ved parametrene: højderne h og h_b , vinkel γ_1 til γ_4 . Derudover viser figuren grøftebredden w samt gitterperioden Λ . (b) Vi definerer en fyldningsgrad f ved $f = M/(M + V)$, hvor M betyder tværsnitsarealet af det materialefyldte område og V arealet af det tomme område.

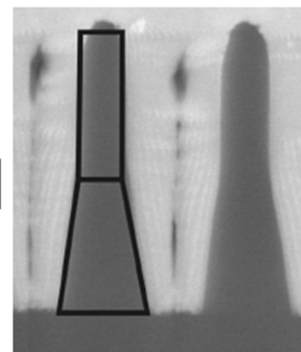
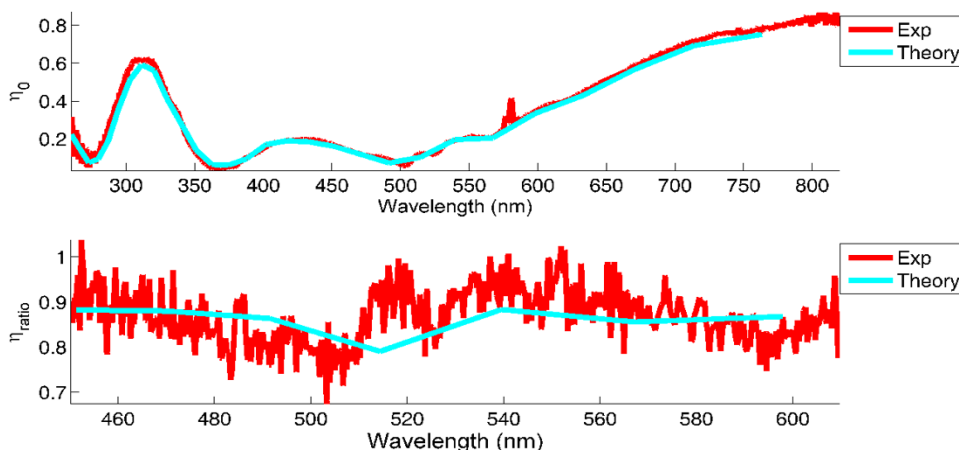
Det opsamlede spektrum bliver brugt som input til en dataanalysemetode, som beregner en topografi for gitterets linieprofil på basis af en valgt model. Modellen indeholder specifikationer om:

- Gitterperioden
- Den geometriske topografi som skal undersøges, f.eks. trapez og polygon, se figur 3
- Materialet som emnet er lavet af.

En ODM-måling er ikke-destruktiv og topografien kan findes på mindre end et minut. Et ODM gengiver den gennemsnitlige topografi i form af en linieprofil med tilhørende parametre, som karakteriserer gitret. ODM indgår nu i DFMs servicetilbud. ODM vil være et nyttigt redskab for blandt andet gitter-, laser- og spektrometerfabrikanter samt andre der arbejder med periodiske strukturer, såvel på overfladen som begravede i et materiale. I det følgende vil vi betragte et eksempel der illustrerer mikroskopets egenskaber. Vi vil beskrive hvorledes ODM kan bruges til at lave kvalitetskontrol på gitre.

Sammenligning af AFM og ODM: Gitre i kvarts

Det første vi skal gøre er at vælge en model ud fra de eksperimentelle data. Figur 4 viser to kurver, den øverste kurve viser signalet for det transmitterede lys og den nederste kurve viser forholdet mellem lyssignalet der afbøjes mod venstre og højre. Da sidstnævnte tilnærmelsesvis er en ret linie med værdien 1, er signalerne fra højre og venstre side identiske, hvorfor vi skal bruge en symmetrisk model. Da det er tale om dybe strukturer vælger vi en model der består af to trapezer der er stablet oven på hverandre, se figur 3. ODM dataanalysemetoden består nu i at variere parametrene for denne model og sammenligne de herved fremkomne spektre med det målte spektrum. Det spektrum som har den mindste afvigelse fra det målte svarer til de bedste parametre for modellen, se figur 3 og tabel 1.



Figur 4. Til venstre: målt spektrum (rød kurve) og modelleret spektrum (lyseblå kurve) for et kvartsgitter med gitterperiode $\Lambda = 1013$ nm. Den nederste kurve viser forholdet mellem diffraktionsordene spredt til venstre og højre, da forholdet er ca. 1 er der tale om en næsten symmetrisk struktur. Til højre: den beregnede topografi sammenlignet med et SEM-billede af prøven. SEM-billede fra Teknologisk Institut.

Modelparameter	$\gamma_1(^{\circ})$	$\gamma_2(^{\circ})$	$h(\text{nm})$	$h_b(\text{nm})$	$f(\%)$	$w(\text{nm})$
ODM	$80,0 \pm 0,8$	$87,0 \pm 0,7$	1945 ± 10	855 ± 40	$40,3 \pm 0,5$	652 ± 4
AFM	$80,9 \pm 0,4$	$88,3 \pm 0,4$	1950 ± 15	740 ± 45	$38,3 \pm 1,0$	653 ± 15
SEM	–	–	–	–	ca. 44,5	ca. 649

Tabel 1. Sammenligning af ODM-, AFM- og SEM-målinger.

Konklusion

Vi har demonstreret at man kan måle dybe gitre i en gitterproduktion. Da en måling tager mindre end et minut er ODM en god teknik til at styre procesparametrene i et produktionsmiljø. Forfatterne arbejder på at udvide servicetilbuddet til nye problemstillinger.

Litteratur

- [1] P.-E. Hansen and N. Agersnap Optical Diffraction Microscope for Measuring Submicron Gratings. Suss Report 1st Quarter 2004.
- [2] P.-E. Hansen and J. C. Petersen (2006), Hurtige overfladekvalitetsmålinger i en driftssituation. *Teknisk nyt* nr. 46, 2006.
- [3] J. Garnæs P.-E. Hansen, N. Agersnap, J. Holm, F. Borsetto, and A. Kühle (2006), Profiles of high aspect ratio grating determined by optical diffraction microscopy and atomic force microscopy, *Appl. Opt.* Vol 45, page 3201-3212 (2006).
- [4] P.-E. Hansen, N. Agersnap, A. Kühle, J. Garnæs and J. C. Petersen (2007), Profile characterization using optical diffraction microscopy (ODM), *Proc. Northern Optics 2006*, IEEE, page 35-39 (2007), ISBN 14244-0435-5.
- [5] P.-E. Hansen and L. Nielsen (2008), Combined optimization and hybrid scalar-vector diffraction metod for grating parameters determination, Proc. of the 10th Anniversary International Conference of the European Society for Precision Engineering and Nanotechnology, Euspen, page 516-521 (2008), ISBN 13: 978-09553082-5-3.



Poul-Erik Hansen, ph.d., er videnskabelig medarbejder hos Dansk Fundamental Metrologi og arbejder primært med optiske teknikker til studier af micro- og nanostrukturer. Arbejdede tidligere med udvikling af ODM hos LuKa OptoScope og holografisk kopiering af gitre hos ADC Danmark.



Kai Dirscherl, ph.d. i matematisk modellering (2000) indenfor nanometrologi. Ansat som videnskabelig medarbejder hos Dansk Fundamental Metrologi, hvor han er ansvarlig for DFM's kompetenceområde "Nano". Forsker i bl.a. nanopartikler, udvikling af nye målemetoder samt fremstilling og certificering af referencematerialer.



Jørgen Garnæs, ph.d., er videnskabelig medarbejder hos Dansk Fundamental Metrologi og arbejder primært med nøjagtig udmåling på nano- og mikrometerskala med den direkte afbildningsmetode atomic force mikroskopi. Han er koordinator for kalibrering af måleklodser og kontaktperson for længdemåling indenfor det europæiske samarbejde mellem metrologiske institutter.

PFEIFFER **VACUUM**

NYT KATALOG



Kan rekvireres ved henvendelse:

Tlf. 4352 3800 Fax 4352 3850
 efa@pfeiffer-vacuum.dk