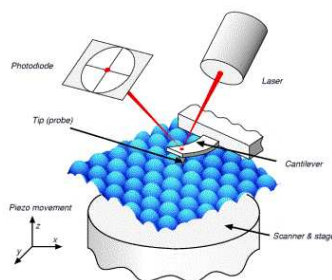
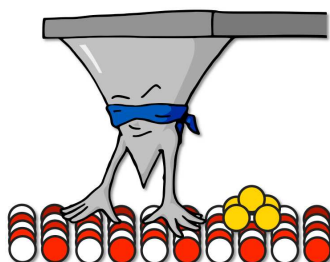

AFM og Informationslagring



Øvelsesvejledning til brug i Nanoteket
Udarbejdet i Nanoteket, Institut for Fysik, DTU
Rettelser sendes til Ole.Trinhammer@fysik.dtu.dk

18. november 2010

Forord

I skal i denne øvelse kigge nærmere på digitale lagringsmedier (CD, DVD, Blu-ray).

Øvelsen består af to dele: Første del er et dobbeltspalteeksperiment, hvor I først skal bestemme bølgelængden af en laser, og bagefter benytte denne laser til at bestemme sporafstanden på f.eks. en CD. Sporafstanden er afstanden mellem de rækker på CD'en, hvor de enkelte bits findes.

Dobbeltspalteeksperimentet er et forsøg, der kan give meget præcise resultater, hvis det udføres omhyggeligt. Det vil forhåbentlig blive bekræftet i anden del af øvelsen.

I anden del af øvelsen skal I stifte bekendtskab med vores Atomic Force Microscopes. Ved hjælp af disse kan I blive i stand til at måle sporafstand og bitstørrelse igennem direkte fysiske observationer

Disse mikroskoper bruges i stigende grad i både forskning og industri. Mikroskoperne udmærker sig ved at kunne tage 3D-billeder af overfladestrukturer på næsten ethvert materiale.

Vores mikroskoper er udviklet specielt til undervisning, og af prishensyn er nogle af de mere avancerede funktioner taget ud. Derfor er vi begrænsede til at undersøge plane, hårde overflader. Vi kan ikke tage billeder af porøse materialer, pulvere eller våde prøver. Men I må gerne tage egne prøver med og forsøge at tage billeder af dem til øvelsen.

Det forudsættes, at I har læst denne vejledning når I kommer til øvelsen. Meget af den kan I læse hurtigt igennem for senere at vende tilbage til den, når I sidder ved mikroskopet. Men vi regner med, at I har sat jer ind i, hvordan mikroskoperne virker, og hvad øvelserne går ud på.

I skal i denne øvelse som minimum lave følgende målinger:

- Billede af kalibreringsgitter.
- Billede af overfladen på en CD.

Opgaverne til de to forsøg er inddelt i to dele. De første opgaver skal I have lavet og diskuteret i klassen inden besøget her i Nanoteket.

God fornøjelse.

Indhold

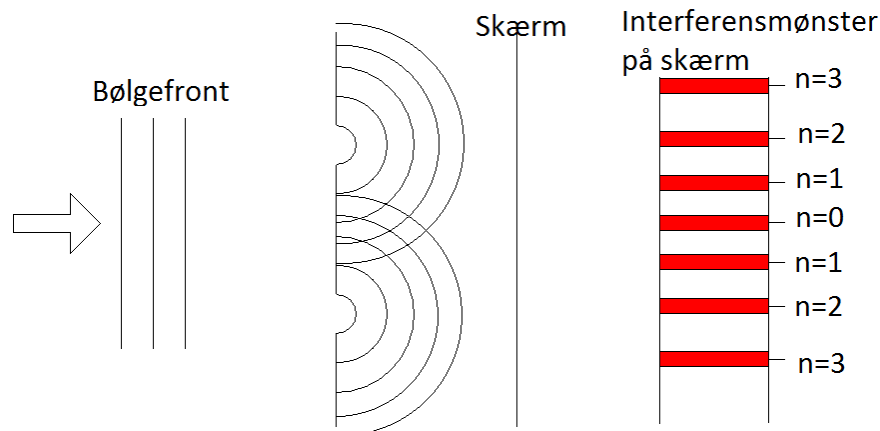
1	Dobbeltspalteeksperiment	1
1.1	Teori	1
2	Scanning Probe Microscopes, SPM	5
2.1	Nanoteknologi	5
3	Atomic Force Microscope, AFM	7
3.1	Hvordan virker det?	7
3.1.1	Nål og cantilever	7
3.1.2	Detektion	9
3.2	Constant Height og Constant Force	10
3.3	Tipfoldning	10
4	EasyScan AFM	12
4.1	Betjening af mikroskopet	12
4.2	AFM-prøver	15
4.2.1	Kalibreringsgitter	15
4.2.2	CD	15
5	Databehandling	16
5.1	Billedbehandling med EasyScan	16
5.2	Billedbehandling med WSxM	17
6	Opgaver	19
6.1	Opgaver I	19
6.2	Opgaver II	19
7	Links	20

Kapitel 1

Dobbeltspalteeksperiment

1.1 Teori

Dette forsøg tager udgangspunkt i det berømte dobbeltspalteeksperiment. Fotoner bliver sendt mod to spalter og opfanget på en skærm bag spalterne. Ifølge den klassiske fysik forventer vi at se to selvstændige grupper af fotoner på den opstillede skærm, en for hver spalte, men dette er ikke tilfældet! I stedet ses et interferensmønster, som kendes fra bølger i vand. Dette skyldes, at partikler ifølge kvantemekanikken kan opføre sig som bølger. Interferensmønsteret opstår som resultat af konstruktiv og destruktiv interferens. Konstruktiv interferens danner en dobbelt så høj bølge. Når bølgedale og bølgetoppe mødes udslukkes bølgen, og intet rammer skærmen, se figur 1.1. En underholdende og tankevækkende forklaring af fænomenet gives af Dr. Quantum på YouTube, søg på *Dr Quantum - Double Slit Experiment*.



Figur 1.1: Skitse af dobbeltspalteeksperimentet.

Lyskilden er repræsenteret ved en laser. Sammenhængen mellem laserens bølgelængde, λ , ordenen, n , spalteaafstanden (hårets diameter), d , og vinklen ud til den respektive or-

den, θ , er givet ved

$$n \cdot \lambda = d \cdot \sin \theta \quad (1.1)$$

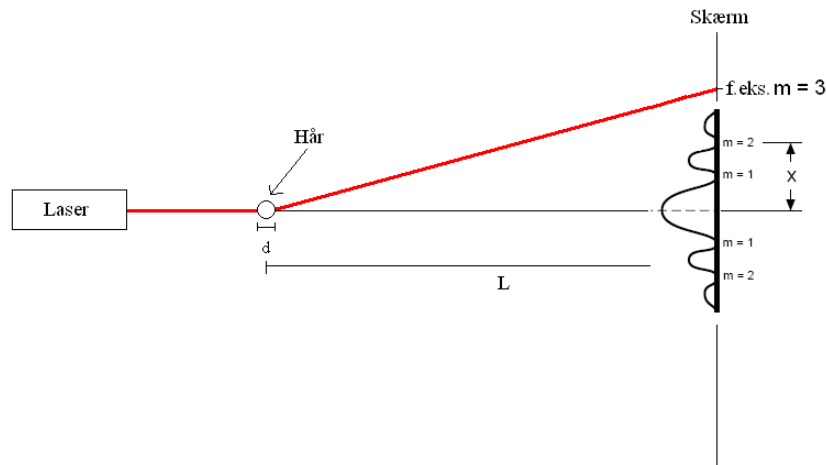
hvor vinklen kan findes ud fra afstanden fra håret til skærmen, L , og afstanden fra nulte orden til den respektive orden i ligning (1.1). Disse to afstande danner en retvinklet trekant, og det gælder således, at

$$\tan(\theta) = \frac{x}{L} \quad (1.2)$$

Når sporafstanden på en CD skal bestemmes, er dobbeltspalten erstattet af sporerne. Lokalt vil sporerne for laserens optræde som spalter, idet dataene er repræsenteret vha. huller i CD'en og sporafstanden dermed som spalteaafstanden, d .

Det viser sig, at også en enkeltspalte giver interferensmønstre. Her vil gælde en tilsvarende sammenhæng som (1.1), nu blot for minima, se figur 1.2

$$m \cdot \lambda = d \cdot \sin \theta \quad (1.3)$$



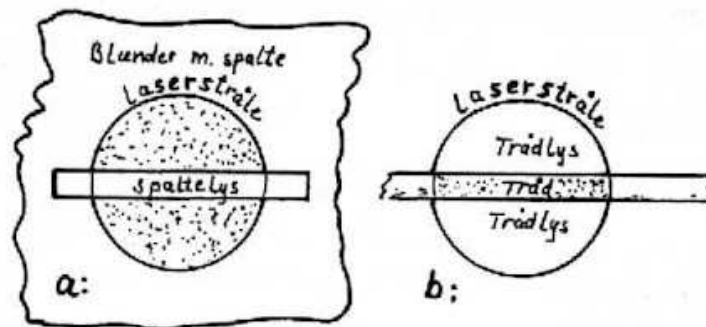
Figur 1.2: Skitse af den praktiske implementering af enkeltspalteeksperimentet.

Vi vil benytte (1.3) til at bestemme laserens bølgelængde ved hjælp af et hår med kendt diameter, d . Ifølge Babinets princip vil en tråd nemlig erstatte en enkeltspalte, hvis tråden har samme diameter som spaltens bredde. Babinet udtales "babinæ" med tryk på sidste stavelse (fransk).

Babinets princip

Babinets princip siger, at komplementære blænder giver samme interferensmønster. To blænder siges at være komplementære, hvis den ene slipper lys igennem netop der,

hvor den anden stopper det (nøjagtigt som en spalte og et hår med samme tykkelse som spaltebredden). Argument: På figur 1.3 ses to komplementære blænder foran en lysstråle. Er ingen af blænderne til stede, vil vi kun få centralpletten på skærmen. Sætter vi blænderne foran (hver for sig), vil der opstå et interferensmønster. Da blænde a netop lader det lys passere, som blænde b stopper, må deres interferensmønstre lagt oven i hinanden give nul. Det må betyde, at bølgerne hørende til de lysende områder fra hvert mønster interfererer destruktivt med hinanden (bortset fra centralpletten). Heraf følger, at begge mønstre må have hhv. mørke og lyse områder samme steder, dvs. at mønstrene er ens.



Figur 1.3: *Komplementære spalter, Henrik Schnack-Petersen, Herlufsholm Skole.*

Øvelsesvejledning

Bestemmelse af laserens bølgelængde

Udstyr

Laser, hår, mikrometerskrue, legoklodser, opsætningsbjælke, skærm, lineal.

Fremgangsmåde

- Find et hår og mål diameteren vha. mikrometerskruen. Pas på ikke at klemme håret.
- Placer håret i en holder af legoklodser på opsætningsbjælken sammen med laseren og skærmen. Opstillingen skulle nu gerne fungere som den på figur 1.2.
- Tænd for laseren, og drej den, indtil den rammer håret, så interferensmønsteret ses på skærmen bagest.
- Mål de relevante afstande i opstillingen og notér den respektive orden.

- Beregn bølgelængden vha. formlen udledt i opgave 1 i kapitel 6.

Bestemmelse af sporafstanden

Udstyr

Laser, opsætningsbjælke, skærm, lineal, forhåndenværende digitale lagringsmedier (CD, DVD, Blu-ray)

Fremgangsmåde

- Placer laser, CD og skærm på opsætningsbjælken, således at laseren står i midten og peger mod CD'en, mens skærmen står placeret bag ved laseren.
- Sporerne på CD'en fungerer nu som spalter og interferensmønsteret ses på skærmen. Opmål igen de relevante længder og notér den respektive orden.
- Beregn sporafstanden vha. den anden formel udledt i opgave 1 i kapitel 6.
- Gentag eventuelt proceduren for dvd, Blu-ray, etc.

Kapitel 2

Scanning Probe Microscopes, SPM

Når folk snakker om mikroskoper, mener de som regel optiske mikroskoper. Men ordet betyder sådan set bare et apparat til at se på små ting¹. Vi skal her beskæftige os med en helt anden type mikroskoper; de såkaldte Scanning Probe Microscopes, forkortet SPM. I et optisk mikroskop bliver alle billedpunkterne dannet samtidig. I et SPM bliver billedpunkterne dannet ét for ét. Det foregår ved, at en probe, også kaldet tip, nål eller spids, i hvert enkelt billedpunkt tager en måling. Billedet bliver så dannet, ved at man tildeler værdien af målingen i hvert enkelt billedpunkt en farve. Var målingen høj bliver den tilsvarende pixel lys, og vice versa. Den samme idé med billeddannelse ud fra lokale målinger kendes jo også fra vejrudsigten, hvor europakortet farvelægges alt efter, hvor varmt der er de pågældende steder.

Når man i forbindelse med SPM taler om at scanne prøven, betyder det, at den probe man anvender, bevæges hen over prøven én linje ad gangen, indtil man har dækket hele det felt, man ønsker at danne et billede af. Det minder lidt om at læse en tekst, hvor man bogstav for bogstav og linje for linje afkoder teksten.

Man kan bruge mange forskellige prober og mange forskellige vekselvirkninger. Vi har dog her i Nanoteket kun to typer scanningmikroskoper: Scanning Tunneling Microscopy, STM, og Atomic Force Microscopy, AFM.

Disse to medlemmer af SPM-familien er afgjort de bedst kendte og de mest benyttede. STM benyttes hovedsageligt i forskningen, og var den første type SPM, der blev opfundet. AFM benyttes i mange højteknologiske virksomheder og er den simpleste type SPM.

2.1 Nanoteknologi

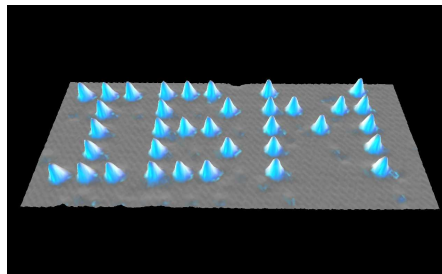
SPM er nogle af de vigtigste hjælpemidler i nanoteknologien. I Nanoteket her på Institut for Fysik giver vi de studerende mulighed for at stifte bekendtskab med disse værktøjer

¹Fra græsk *mikrós*, lille, og *skopein*, betragte

allerede tidligt i studiet. STM bruges andre steder på DTU til forskning², mens det i industrien er Atomic Force mikroskopi, AFM, der anvendes. AFM er en type mikroskop beslægtet med STM, og vi har også AFM'er i Nanoteket.

Noget kan siges at være nanoteknologi, hvis det har funktionelle strukturer på en skala mellem 0,1 og 100 nanometer. En nanometer er en milliardtedel af en meter, altså 10^{-9} m. En nanometer er ti gange større end diameteren af det mindste atom, brintatomet, som er ~ 1 ångstrøm. For at få en fornemmelse for, hvor stor en nanometer er, kan vi tage det, vi kan se med det menneskelige øje. Vi kan se ting af størrelsesordenen 20.000 nanometer, så vi kan altså ikke se nanoteknologiens forskningsobjekter med det blotte øje. En nanometer er ca. 40.000 gange mindre end diameteren af et menneskehår.

En nanometer er altså en meget lille længde! Nanoteknologien er i rivende udvikling. Faktisk *kan* man i dag skrive bogstaver, der er omkring en nanometer høje. Med SPM-mikroskoper kan man manipulere med overfladen af de atomare strukturer, dvs. ændre stoffet atom for atom eller molekyle for molekyle. I 1990 flyttede Don Eigler 35 xenonatomer på en guldoverflade, således at han skrev sin arbejdsgivers navn med atomer. Resultatet ses på figur 2.1.



Figur 2.1: Det berømte billede af IBM skrevet med xenonatomer.[1]

²Se f.eks. centret CASE

Kapitel 3

Atomic Force Microscope, AFM

Et AFM er velsagtens den forståelsesmæssigt simpleste type af den familie af mikroskoper, der kaldes scanning probe mikroskoper, SPM. Det fungerer nogenlunde, som når en blind person danner sig et indtryk af sine omgivelser ved hjælp af en stok. Så selvom vi sikkert allesammen har fået at vide, at: ”Hov, hov, man ser ikke med fingrene!”, så er det i AFM lige nøjagtigt, det man gør.

AFM er den type SPM, der bruges mest idag. Det skyldes en række forhold:

- Man kan undersøge ikke-ledende materialer.
- Der kræves minimal prøvepreparation.
- Man kan scanne større områder end med STM.
- Man kan undersøge prøver i væske, hvilket særligt er interessant til biologiske undersøgelser.

3.1 Hvordan virker det?

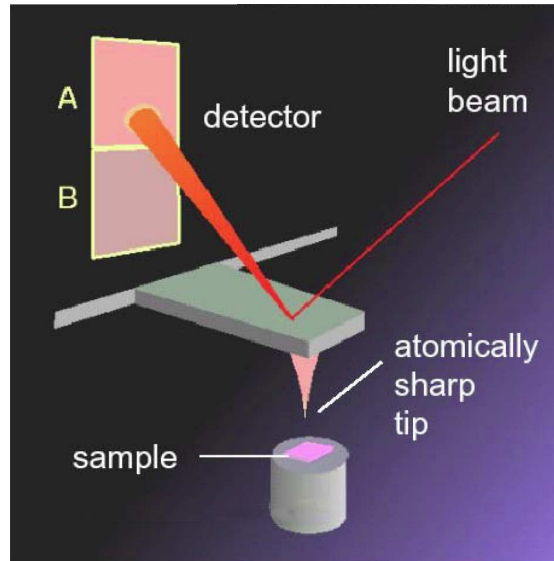
Proben i et AFM er en fin nål monteret for enden af en bladfjeder¹. Man lader nålen røre prøven ganske let, således at nålen ved scanning er nødt til at bevæge sig op og ned i takt med prøvens overfladestruktur. Ved at afbillede bladfjederens bevægelser får man dannet et billede af overfladen.

3.1.1 Nål og cantilever

For at opnå den bedst mulige afbildning af overfladen skal fjederen give et målbart udslag selv for små påvirkninger. Den fysiske lov, der forbinder fjederens udslag med den kraft, F , den påvirkes af, hedder Hookes lov:

$$F = -k \cdot x \tag{3.1}$$

¹Som regel bruges det engelske ord *cantilever*



Figur 3.1: Den meget fine nål følger prøvens overfladestrukturer ved scanning. Ved hjælp af en laserstråle og en fotodiode, omsættes nålens bevægelser til et elektrisk signal, som ved computerens hjælp kan danne et billede af overfladen. [2]

Ifølge 3.1 er udslaget størrelse, x , omvendt proportionalt med fjederkonstanten, k . Dermed skal fjederkonstanten være så lille som muligt, for at små påvirkninger giver store udsving.

Fjederkonstanten kan udregnes således,

$$k = \frac{E}{4} \cdot \frac{w \cdot t^3}{l^3} \quad (3.2)$$

hvor E er Youngs modul², og w , t og l er henholdsvis bredde, tykkelse og længde af vores cantilever.

Men fjederen skal ikke bare være blød, den skal også have en høj resonansfrekvens, for ellers bliver den for følsom over for mekaniske vibrationer. Den skal kunne scanne i et rimeligt tempo hen over prøven, hvilket giver støj med en frekvens på få hertz. Desuden er der rystelser i bygningen, luftstrømme og lyd. Vi skal altså gerne op på en egenfrekvens på 10-100 kHz.

Resonansfrekvensen kan ifølge [4] udregnes som,

$$\omega_0 = \left(\frac{k}{m} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3.3)$$

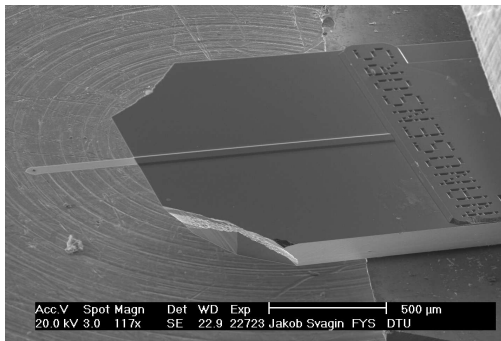
Mekaniske vibrationer med frekvens ω , der transmitteres gennem et system med

²Youngs modul er en materialeegenskab, der fortæller os, hvor stift materialet er. For silicium er $E \sim 130$ GPa og for aluminium er $E \sim 70$ GPa. [3]

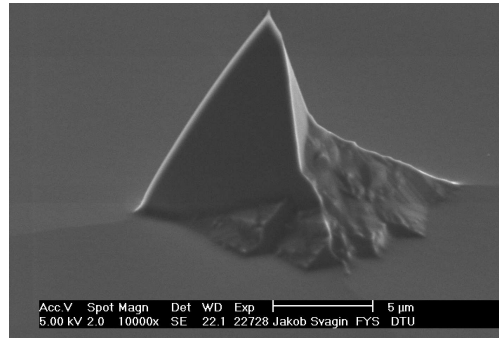
resonansfrekvens ω_0 , reduceres med en faktor $(\omega/\omega_0)^2$. Den høje resonansfrekvens er dermed med til at sikre, at vi får rimeligt støjfrie målinger. [4]

Mikrofabrikerede cantilevers af silicium giver en god kombination af lav k og høj ω_0 . Derudover kan cantilevers i silicium fremstilles parallelt, således at man får mange cantilevers med ensartede mekaniske egenskaber.

På figur 3.2 og 3.3 ses billeder af de sensorer, vi bruger i vores AFM'er. Billederne er taget med instituttets elektronmikroskop.



Figur 3.2: Elektronmikroskopbillede af den siliciumchip, hvorpå cantilever med nål sidder. Alleryderst på cantileveren ses en lille prik. Det er nålen som ses i nærbillede til venstre



Figur 3.3: Nålen yderst på vores bladfjeder. Det er det yderste af denne nål, der rører prøven. Krumningsradius af nålens spids er på under 10 nm.

3.1.2 Detektion

Nu har vi så en nål, monteret for enden af en meget blød bladfjeder, der scannes hen over prøven, hvorved nålen, og fjederen vil følge overfladens konturer. Udfordringen er nu at måle nålens bevægelser med nanometerpræcision eller bedre. Udover at være meget præcis må vores detektion ikke forstyrre nålen eller skabe støj, og så må metoden gerne kunne bruges både i luft, væske, vakuum og til lavtemperaturforsøg.

Der findes flere forskellige metoder til at gøre dette. Den metode, som bruges i vores AFM, er langt den mest almindelige og kaldes optiskdetektion eller laserdetektion.

Under fremstillingen af vores cantilevers lægger man et reflekterende lag på bagsiden, således at den virker som et spejl. Man fokuserer så en laserstråle på cantileveren, lige over nålen, og enhver bevægelse af cantileveren vil resultere i en tilsvarende bevægelse af den reflekterende laserstråle, som let kan måles med en todelt fotodiode.

Den kraft, som laserstrålen påvirker cantileveren med, er meget lille, så den kan vi se bort fra³. Ved målinger ved meget lave temperaturer skal man dog overveje, om

³Lyser vi med en laserpegepind på et almindeligt spejl, udøver vi en kraft på ~ 10 pN. Den laser vi har i vores AFM er væsentligt svagere. Lysets kraft bruges dog i en såkaldt optisk pincet til at fastholde mikroskopiske objekter. [5]

laserstrålen giver anledning til lokal opvarmning, men for de fleste anvendelser er det ikke et problem. Hvis man laver AFM målinger på prøver i væske, kræver det selvfølgelig, at væsken er gennemsigtig for laserens bølgelængde, og at brydningsindekset ikke ændrer sig i løbet af forsøget.

Laserstrålen reflekteres som sagt op på en todelt fotodiode, se figur 3.1. En fotodiode er kendetegnet ved, at den skaber en strøm proportional med det antal fotoner, den absorberer. Lad os kalde strømmen generet af fotodiodens to halvdele for henholdsvis I_A og I_B . Vi kan dels måle de to signaler hver for sig, dels kigge på differensen $I_A - I_B$. Denne differens vil være 0, hvis der lige meget lys på de to halvdele, positiv, hvis I_A er størst og vice versa.

Man lader nu den reflekterede laserstråle ramme begge fotodiodens to halvdele, således at differensen er 0. Når lysstrålen bevæger sig, vil forskellen for små udsving mellem I_A og I_B være proportional med bevægelsen, og man kan dermed registrere cantileverens bevægelser.

3.2 Constant Height og Constant Force

Et AFM kan bruges på flere måder. Her ses lidt på den metode der kaldes Contact Mode. Som navnet antyder, er der fysisk kontakt mellem nålen og prøven. Hvis vi kender cantileverens fjederkonstant, kan vi lade den presse ned imod prøven med en bestemt kraft, typisk 5 – 20 nN. Vi måler hele tiden cantileverens bevægelser, og ved at lade et computerstyret feedbackloop justere nålens z -position kan vi holde kraften konstant. Dette kaldes Constant Force Mode. De fleste AFM-målinger laves på denne måde. Billederne dannes ved at plote feedbackloopets output, som funktion af nålens (x, y) -koordinater.

Alternativt kan vi slukke for feedbackloopet og derved lade nålen scanne i en bestemt højde over prøven. Dette kaldes Constant Height Mode. Billederne dannes ved at plote differenssignalet fra fotodioden som funktion af nålens (x, y) -koordinater.

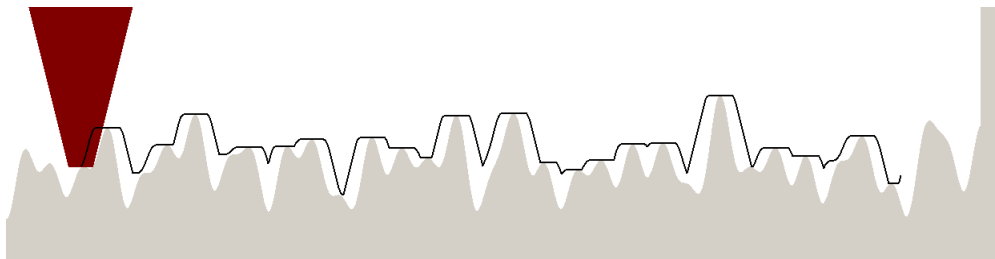
3.3 Tipfoldning

Fænomenet tipfoldning⁴ betyder, at tippens struktur ved SPM forsøg bliver blandet sammen med strukturen af den prøve man undersøger, se figur 3.4.

Man gør sig derfor store anstrengelser for at producere så spidse tips som overhovedet muligt. Efterhånden som de bliver slidt, vil tipfoldning gøre det sværere at få gode billede af små strukturer.

På de tips vi bruger til AFM-undersøgelser i Nanoteket, har tippens yderste del en krumningsradius på ~ 10 nm. Man kan derfor regne med, at alle strukturer bliver ca. så meget bredere.

⁴ofte bruges det engelske udtryk *tip convolution*.



Figur 3.4: Hvis prøvens strukturer er skarpere end tippet, vil det gøre billedet uskarpt.

Kapitel 4

EasyScan AFM

De AFM'er vi har i Nanoteket, er lavet af firmaet Nanosurf. De er beregnet til undervisningsbrug, hvilket betyder, at de er meget brugervenlige og relativt robuste. Til gengæld kan de ikke nå samme opløsning som et professionelt AFM.

4.1 Betjening af mikroskopet

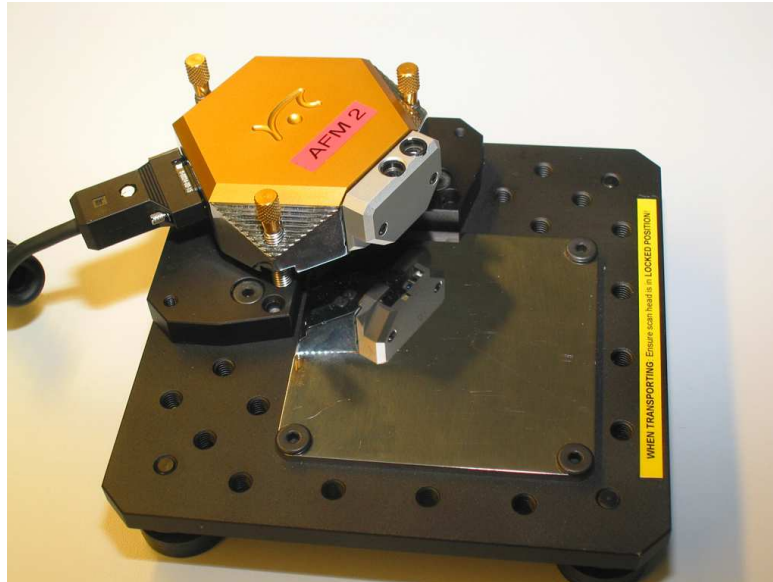
Vær forsigtig med udstyret! Er I i tvivl om, hvorvidt I gør tingene rigtigt, så spørg.

De sensorer, vi bruger til AFM, er mikrofremstillede i silicium, se afsnit 3.1.1. De koster et par hundrede kroner stykket, så det er ingen katastrofe, hvis der ryger én en gang imellem, men hold det venligst på et minimum.

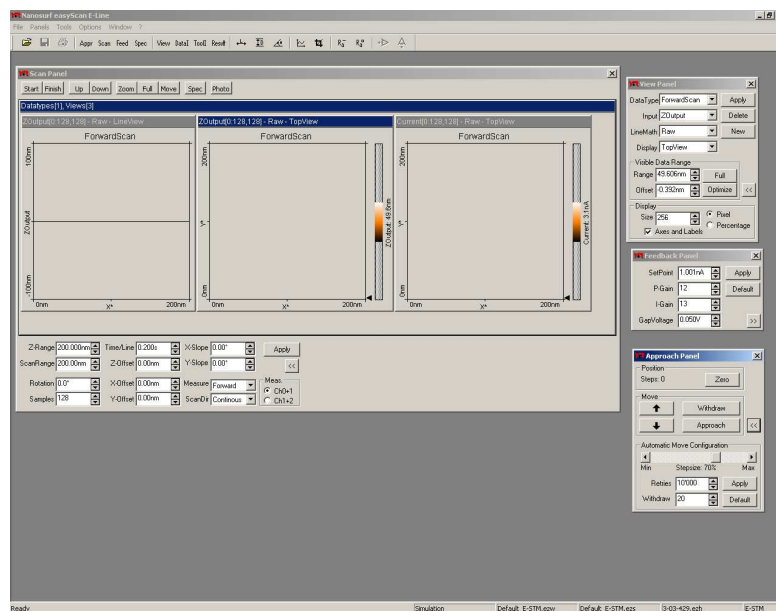
I må ikke selv skifte sensoren i jeres AFM! Hvis cantileveren knækker, må I spørge om hjælp.

Mikroskopet står på en lille vibrationsdæmpet plade, se figur 4.1. Denne plade er med til at fjerne den støj fra omgivelserne, som mikroskopet er meget følsomt overfor. Men man kan placere mikroskopet, hvor man vil; det behøver ikke stå på pladen. Vil man undersøge kvaliteten af den nye lakering, som bilen har fået, tager man sit AFM og stiller det direkte på taget af bilen. Til alle de forsøg som er beskrevet her, skal AFM'et dog blive stående på pladen.

- Tænd mikroskopet på strømforsyningen til de to elektronikkasser. Når dette er gjort, skulle den røde diode på den ene kasse gerne stå og blinke.
- Start programmet EasyScan fra skrivebordet. Computeren kommunikerer nu med mikroskopet, for at finde ud af, om det er et STM eller et AFM. Når det er sket, åbnes der 4 vinduer, 'Scan Panel', 'View Panel', 'Feedback Panel' og 'Approach Panel' (se figur 4.2).
- Inden vi kan begynde målingerne, skal vi have lagt en prøve i mikroskopet. Til alle de her beskrevne forsøg sættes prøverne fast på et stykke dobbeltklæbende tape på den lille stålplade, der er forsynet med magneter nedenunder. Sørg for at mikroskopets tre ben er indstillet således, **at prøven kan skubbes ind under mikroskopet uden at komme i nærheden af sensoren.**



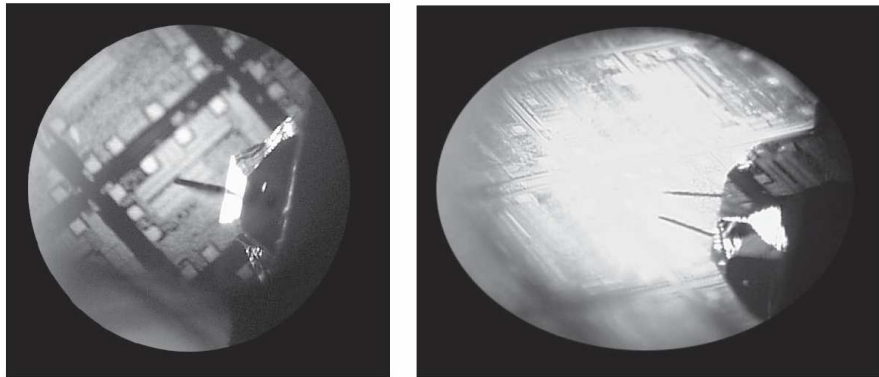
Figur 4.1: EasyScan AFM.



Figur 4.2: Skærm dump (screen shot) af programmet EasyScan. Brug denne tegning, når I læser vejledningen til programmet.

- Når prøven ligger under sensoren, sænker I ved hjælp af de 3 skrueben mikroskopet ned imod prøven. Sørg for at mikroskopet ikke kommer til at stå skråt. Når I er et par millimeter fra prøven, skal I til at bruge de to linser der sidder i mikroskopet.

I den venstre linse ser I ned på sensoren ovenfra. I den højre ser I den fra siden. Se figur 4.3



Figur 4.3: Her ser vi to billeder taget igennem AFM'ets integrerede linser. Til venstre ses siliciumchippet, hvorudfra cantileveren stikker. Brug denne linse til at udvælge et bestemt sted på prøven. Til højre ses sensoren fra siden. Læg mærke til at cantileveren spejler sig i prøven. Dette er afgjort den nemmeste måde bedømme afstanden til prøven på.

- Brug lidt tid på at orientere jer gennem linserne, og hold udkig efter spejlbilledet af cantileveren. Når I har fået øje på skyggen, kan I fortsætte med at sænke mikroskopet med EasyScan programmet. Til det skal vi bruge 'Approach Panel' i programmet. Med '↑' og '↓' justeres sensoren i forhold til prøven, indtil cantileveren netop ikke rører overfladen.
- Tryk nu på 'Approach', og computeren overtager styringen. Den sænker nu nålen ned mod prøvens overflade, mens den hele tiden måler cantileverens afbøjning som beskrevet i 3.1.2. Når nålen rammer prøvens overfladen, begynder afbøjningen af cantileveren. Den stopper først, når vi når den kraft, som er sat i 'FeedBack Panel'. Som udgangspunkt er den sat til 20 nN. Når denne kraft nås, starter scanningen.
- Start altid med at tage et oversigtsbillede. Man scanner et kvadratisk billede, og sidelængden indstilles i 'Scan Panel' med parameteren 'ScanRange'.
- Nu skal I indstille mikroskopet, sådan at det plan vi scanner ligger parallelt med prøvens overflade. Dette gøres ved at ændre "y-slope" og "x-slope", indtil tværsnitsbilledet (grafen til venstre for scannebilledet) viser en vandret streg. Når "y-slope" skal ændres sættes "angle" til 90°, bagefter ændres den tilbage til 0° igen. For at få adgang til "angle", skal I åbne de udvidede indstillinger vha. dobbelt-pilen.
- Der kan zoomes ind på et område af prøven ved at ændre "ScanRange" og "Z-range". "Z-range" bestemmer det mulige udsving for nålen, og dermed hvor tæt på overfladen nålen kan komme. "Z-range" og "ScanRange" skal følges nogenlunde ad, dog skal "Z-range" gerne være lidt lavere.

- Ønsker I at zoome ind på et bestemt område på billedet, trykker I på zoomknappen, trækker et felt over det ønskede område og trykker derefter inde i feltet. "ScanRange" ændres nu automatisk, mens "Z-range" stadig skal ændres manuelt.
- Når I er færdige med prøven, skal nålen løftes op igen. Tryk på "remove" og derefter ↑ i "Approach Panel", indtil afstanden mellem tip og prøve er et par millimeter.
- Prøven kan nu forsigtigt trækkes ud fra mikroskopet.

4.2 AFM-prøver

4.2.1 Kalibreringsgitter

Dette gitter er fremstillet ved hjælp af de samme ultrapræcise teknikker, som man benytter til fremstilling af både mikroprocessorer og sensorer til AFM. Gitteret består af et mønster af firkantede fordybninger, der er ætset ned i overfladen, og vi ved meget præcist, at de har en periodicitet på $10\text{ }\mu\text{m}$. Dette bruges til at sikre, at de afstande og dybder man måler på andre prøver er rigtige.

4.2.2 CD

Hvis man forsøger at undersøge en CD, som man har med hjemmefra i stedet for det lille stykke, der hører til mikroskopet, vil man nok blive skuffet. Der er ingen struktur at se. Det skyldes, at strukturerne er skjult af et gennemsigtigt plastiklag, der beskytter mod ridser. Laseren, der bruges til at aflæse informationen i en CD-afspiller, kan dog lyse igennem dette lag og ind til strukturerne, men det kan vores AFM selvfølgelig ikke.

Det lille stykke CD der hører til mikroskopet, er taget fra en CD, som endnu ikke havde fået påført det beskyttende lag. Derfor er der direkte adgang til datalagets strukturer.

Kapitel 5

Databehandling

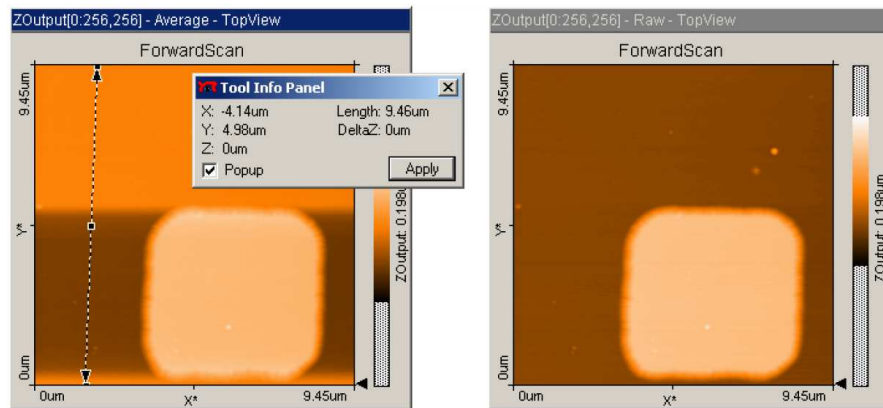
Alle billeder gemmes i EasyScans eget format (*.ezd). Billedfilerne kan man så efterbehandle enten i EasyScan-programmet eller i et andet egnet databehandlingsprogram.

5.1 Billedbehandling med EasyScan

Til at bestemme de størrelser i skal måle, kan i bruge samme program, som i bruger til at foretage selve målingen: EasyScan.

Programmet har ikke så mange muligheder, men har den fordel frem for WSxM, at man kan være sikker på, at de afstande og højder man måler, er rigtige. Her en kort gennemgang af de værktøjer I skal/kan bruge:

- I 'View Panel' kan I lege med farveskalaen, indtil I får det bedste billede frem.
- I 'Data Info Panel' kan I se de indstillinger, I brugte da I tog målingen.
- I 'Tools' finder I disse nyttige funktioner:
 - 'Measure Length': Med denne funktion kan I måle afstanden mellem to punkter i billedet. Resultatet vises i 'Tool Info Panel'.
 - 'Measure Distance': Kan måle den vinkelrette afstand mellem to parallelle linjer. I tegner den ene linje og placerer den anden som hænger fast i markøren, indtil I trykker igen.
 - 'Measure Angle': Kan måle vinklen mellem to linjer.
 - 'Create a Cross-Section': Giver jer en højdekurve langs den linje I definerer. 2. aksen kommer først på når I trykker 'Apply'.
 - 'Correct Scan Line Levels': Denne funktion kan bruges til at fjerne uønskede effekter fra den automatiske Z-justering. Træk en linje gennem punkter der burde have samme højde, men ikke har det. Programmet justerer nu højderne, se figur 5.1.



Figur 5.1: Værktøjet 'Correct Scan Line Levels' kan bruges til fjerne højdeforskelle skabt af den automatiske Z-justering.

5.2 Billedbehandling med WSxM

Hvis I har lyst til at lege mere med jeres billeder, kan I prøve kræfter med programmet WSxM. Det er et program, som firmaet Nanotec har gjort gratis tilgængeligt fra deres hjemmeside, www.nanotec.es, som reklame for deres hardware. Programmet har flere funktioner end EasyScan og kan lave flotte 3D-billeder.

Advarsel! Der kan være problemer med korrekt læsning af skalaerne på jeres billeder. I skal derfor sikre jer, at målinger af længder og højder i WSxM, passer med resultaterne fra EasyScan.

Når I åbner et af jeres billeder med programmet, skal I være opmærksomme på, at der ikke er sat kryds ved nogle af de databehandlingsmuligheder, man kan sætte til at køre når billedet åbnes. I øverste venstre hjørne af 'Open'-menuen er der fem muligheder at vælge. De skal alle være valgt fra. I skal nemlig gøre det selv, så I lære hvordan de påvirker billedet.

De funktioner, I skal bruge til at starte med, er:

- **Global Plane:** Selvom I har indstillet scanneplanet i forhold til prøveplanet så er det måske stadig en anelse skråt. Denne funktion fitter en plan flade til jeres data og fratrækker det bedste fit.
- **Equalize:** Denne funktion giver jer et histogram over, hvor mange pixels i jeres billede der har en given værdi. Med venstre og højre museknap kan I skære enderne af skalaen af, således at jeres data bliver spredt ud over hele farveskalaen.
- **Flatten:** Denne funktion tager jeres data linje for linje, og fratrækker enten et offset, en ret linje eller en parabel. Da mikroskopet automatisk prøver at kompensere for drift ved at justere Z-offset for hver linje, så kan målingerne hoppe fra den ene linje til den anden. Dette retter 'Flatten' op på.

- 3D: Giver flotte 3D billeder af jeres data. I menuen 3D kan I indstille rotation, lys og meget andet. Leg med det!

Kapitel 6

Opgaver

6.1 Opgaver I

1. Indsæt formel (1.2) i (1.1) og isolér bølgelængden λ . Gør det samme for spalteastanden, L . I skal bruge disse to formler i øvelsen.
2. Udregn fjederkonstanten for en bladfjeder lavet af et stykke alufolie med dimensionerne. $l = 4 \text{ mm}$, $w = 1 \text{ mm}$ og $t = 10 \mu\text{m}$. Hvor stor en kraft skal der til for at afbøje denne cantilever 1 nm? Det svarer til tyngdekraften på hvor mange gram? [4]
3. Udregn resonansfrekvensen for ovennævnte bladfjeder.
4. Udregn fjederkonstant og resonansfrekvensen for en cantilever lavet i silicium med følgende dimensioner: $l = 450 \mu\text{m}$, $w = 50 \mu\text{m}$ og $t = 2 \mu\text{m}$. Forklar, hvorfor vi har valgt at bruge denne type sensor.

6.2 Opgaver II

5. Mål periodiciteten af kalibreringsgitteret. Sammenlign med fabrikantens specifikationer: XY-periodicitet = $10 \mu\text{m}$, dybde = 98 nm .
6. Beregn afvigelsen for sporafstanden fra målingen i øvelsen med laseren og øvelsen med mikroskopet. Hvad er de mulige usikkerheder og fejlkilder?
7. Vurdér på baggrund af jeres målinger, hvor meget data, der kan ligge på en cd. Husk at tage højde for den beregnede afvigelse fra målingerne af kalibreringsgitteret.
8. Beregn, hvor langt det totale dataspor er på en CD.
9. Hvis de mindste fordybninger på cd'en var 1 cm lange, hvor hurtigt skulle læsehovedet så køre for at læse de nødvendige data?

Kapitel 7

Links

- www.sciencesite.dtu.dk/nano/Intro/intro.htm. God side om nanoteknologi! Læs her detaljeret om historien bag STM, om anvendelser, om nanotubes og meget mere. Se især linket "blikket rettet mod det mindste", under "historier".
- www.ulab.ku.dk. Ungdomslaboratorium, hvor de også har STM, og hvor dele af denne vejledning er taget fra.
- www.nobel.se/physics/laureates/1986/press.html. 1986 Nobelprisen i fysik. Historisk baggrund for STM og en forståelig beskrivelse af teknikken. Engelsk.
- www.nanosurf.ch/. NanoSurf's hjemmeside. Producenten af EasyScan STM. Her findes tekniske beskrivelser og billeder af udstyret, der kan bruges til rapport-skrivningen. Engelsk.
- <http://micro.magnet.fsu.edu/primer/museum>. Imponerende side om optisk mikroskopi.
- www.veeco.com/nanotheatre. Flotte billeder taget med forskellige typer SPM'er.
- www.almaden.ibm.com/vis/stm/gallery.html. Mange flotte billeder fra IBM's STM-gruppe.
- www.embl-heidelberg.de/~altmann. Masser af links til sider om SPM af alle slags.
- www.nanotec.es. Her kan man hente programmet WSxM til efterbehandling af billederne. Kan læse .ezd-formatet.

Litteratur

- [1] <http://www.almaden.ibm.com/vis/stm/stm.html>.
- [2] <http://userpage.chemie.fu-berlin.de/~pcfp/V19/pdf/v19.pdf>.
- [3] <http://www.webelements.com>.
- [4] R. Wiesendanger. *Scanning Probe Microscopy and Spectroscopy*. Cambridge University Press, 1994.
- [5] <http://www.nbi.dk/tweezer>.