



Department of Physics

Examination paper for TFY4330 Nanotools

Academic contact during examination: Dr. A.T.J. van Helvoort

Phone: 41651882

Examination date: Saturday 31 May 2014

Examination time (from-to): 9.00-13.00

Permitted examination support material: Hjelpemidler C (simple calculator, English dictionary, Rottmann formulas book).

Other information:

Language: English followed by Norwegian text

Number of pages: 8 (Including covers, both English and Norwegian)

Number of pages enclosed: 0

Checked by:

Date

Signature

EKSAMEN I FAG TFY4330 Nanotools

Fakultet for naturvitenskap og teknologi

Friday 31 May 2014

Time: 9.00 – 13.00

English text (Norwegian text after English text)

Number of exam pages: 3 (+ 3 for Bokmål text + 2 covers) Sensur deadline: 21.06.2014

Allowed: Hjelpemidler C (simple calculator, English dictionary, Rottmann formulas book).

- There are 5 tasks in total.
- There are 16 questions. Some questions have sub-questions.
- Attempt to answer all questions, they are independent of each other as far as possible.
- Read the question carefully and answer it completely (“explain answers”) and legibly!
- Sketches can be included, but have to be clearly readable.
- Max. score per question is indicated. Total: 150 points = 100%.
- This written exam counts 1/2 to final mark in this course.
- Answers can be given in English or Norwegian.
- This is the English exam text. The bokmål Norwegian comes after the English text.

TASK 1: Interaction**Question 1(a):**

[Max. score:10 points]

What is an Auger electron and how is it formed? What can the Auger signal be used for?

Question 1(b):

[Max. score:10 points]

When a high energy electron beam interacts with a material, the material can be altered. Name and explain one form of such inelastic interaction.

If seen as damage, how can that form of inelastic interaction be reduced?

Give an example when such interaction is desired. Limit your total answer to max 10 lines.

Question 1(c):

[Max. score:10 points]

In a diffraction experiment the intensity is recorded as function of the scattering angle. Considering diffraction from a crystalline specimen, give two characteristics of the resulting diffractogram and explain what information they contain about the sample.

TASK 2: Electron microscopy**Question 2(a):**

[Max. score:10 points]

How does a lens in an electron microscope alter the electron beam?
Describe one lens imperfection that can affect the microscope's performance.
How can that effect be minimized?

Question 2(b):

[Max. score:10 points]

How could SEM imaging based on secondary electrons be optimised to get a better spatial resolution? Give three parameters and/or improvements in the set-up and include an argumentation for each of your suggestions.

Question 2(c):

[Max. score:10 points]

What is mass-thickness contrast in transmission electron microscopy (TEM)? Include a sketch in your answer which demonstrates of the principle behind it.
When is this type of contrast occurring?
Give one method how it can be made stronger?

Question 2(d):

[Max. score:10 points]

Explain what is limiting the spatial resolution, i.e. the volume probed, for electron diffraction in TEM.
Give and explain one method to get a higher spatial resolution of electron diffraction in TEM.

TASK 3: Spectroscopy**Question 3(a):**

[Max. score: 10 points]

Sketch an energy dispersive X-ray (EDX/EDS) spectrum of a zirconium (Zr) specimen on a Cu TEM grid. Include i) the white background signal, ii) the Zr-K family ($K\alpha= 15.75$ keV) and iii) the Zr-L family ($L\alpha= 2.04$ keV), iv) a weak Cu stray signal ($K\alpha= 8.04$ keV, $L\alpha=0.93$ keV) and v) a Si escape peak. Explain your choice of positioning these five features.

Question 3(b):

[Max. score:10 points]

Explain how a 2-dimensional EDX elemental map, for example in a SEM, is constructed.
What is the challenge for obtaining a quantitative EDX map?

Question 3(c):

[Max. score:10 points]

The energy loss within the specimen from the transmitted primary electron can be analyzed in TEMs with an energy filter. Explain how energy filtered TEM (not STEM-based) images are obtained.
Give and explain one example of what such energy filtered images could show.

TASK 4: Focus ion beam**Question 4(a):**

[Max. score:10 points]

Name three differences between electrons as used in an SEM and Ga-ions as used in a focussed ion beam (FIB).

For each of the given answers, how do these differences affect the interaction with a sample and/or the design of the microscope?

Question 4(b):

[Max. score:10 points]

For ion milling in a FIB, how is the milling (sputtering yield) dependent on the primary energy E_0 of the ions?

How is the sputtering rate depending on the incident angle of the ion beam relative to the specimen surface and why?

How is the secondary electron yield dependent on the orientation of the crystal lattice?

Question 4(c):

[Max. score:10 points]

How can a FIB be used to deposit material? Include in your answer the four steps of ion-assisted deposition.

Give one advantage and one disadvantage of depositing materials by FIB.

TASK 5: Scanning probe microscopy (SPM)**Question 5(a):**

[Max. score:5 points]

Give and explain one artifact that is caused by an imperfect scanning mechanism of the probe or the sample. A sketch can be included in the answer.

Question 5(b):

[Max. score:7.5 points]

What is atomic force microscopy (AFM) phase imaging? What additional information can it give to standard AFM?

Question 5(c):

[Max. score:7.5 points]

Using the principle behind scanning tunneling microscopy (STM), explain why the samples for STM have to be conductive?

Why is the STM mostly done in ultra-high vacuum (UHV)?

End of exam, question 5(c) is the last question of this exam.



Institutt for Fysikk

Eksamensoppgave i TFY4330 Nanoverktøy

Faglig kontakt under eksamen: Dr. A.T.J. van Helvoort

Tlf.: 41651882

Eksamensdato: Lørdag 31 mai 2014

Eksamenstid (fra-til): 9.00-13.00

Hjelpemiddelkode/Tillatte hjelpemidler: Hjelpemidler C (simple calculator, English dictionary, Rottmann formelsamling).

Annen informasjon:

Målform/språk: norsk/engelsk

Antall sider: 8 (Inkludert cover, engelsk og bokmål versjon)

Antall sider vedlegg: 0

Kontrollert av:

Dato

Sign

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for fysikk

Faglig kontakt under eksamen:

Navn: Ton van Helvoort

Tlf.: 93637

EKSAMEN I FAG TFY4330 Nanoverktøy

Fakultet for naturvitenskap og teknologi

Fredag 31 mai 2014

Tid: 9.00 – 13.00

Bokmål

Antall sider: **3** (+ 3 sider engelsk tekst + 2 covers) Sensurfrist: 21.06.14
Tillatte hjelpemidler: C (enkel lommekalkulator, engelsk ordbok, Rottmann formelsamling).

- Eksamenen har totalt 5 oppgaver.
- Totalt er det 16 spørsmål. OBS: noen spørsmål har flere underspørsmål.
- Prøv å svare på alle spørsmål. De er ikke koplet direkte til hverandre.
- Maksimum poengsum er gitt for hvert spørsmål. Totalt 150 poeng = 100%.
- Skriftlig eksamen teller 1/2 av sluttarakter i faget.
- Les spørsmålene nøye og svar fullstendig (begrunn svarene, skisse) i lesbar skrift.
- Dette er bokmålsteksten. Engelsk tekst står foran bokmålsteksten. Det kan svares på engelsk eller norsk (bokmål eller nynorsk).

OPPGAVE 1: Vekselvirkning

Spørsmål 1(a):

[Max. score:10 poeng]

Hva er et Auger-elektron og hvordan blir det dannet? Hva kan Auger-signalet brukes til?

Spørsmål 1(b):

[Max. score:10 poeng]

Når en høyenergetisk elektronstråle vekselvirker med et materiale, kan materialet bli endret.

Nevn og forklar en slik type uelastisk vekselvirkning.

Ettersom vi ofte ser på det som skadelig, hvordan kan vi redusere denne typen vekselvirkning?

Gi ett eksempel på når en slik vekselvirkning er ønsket. Begrens totalt svar til maks 10 linjer.

Spørsmål 1(c):

[Max. score:10 poeng]

I et diffraksjonseksperiment blir intensiteten målt som funksjon av spredningsvinkelen. Ta for deg diffraksjon fra en krystallinsk prøve, og nevnto særpreg ved det resulterende diffraktogrammet. Hva slags informasjon gir de deg om prøven.

OPPGAVE 2: Elektronmikroskopi**Spørsmål 2(a):**

[Max. score:10 poeng]

Hvordan kan en linse i et elektronmikroskop endre elektronstrålen?
Beskriv en feil i linsen som kan påvirke mikroskopytelsen.
Hvordan kan denne effekten minimeres?

Spørsmål 2(b):

[Max. score:10 poeng]

Hvordan kan SEM-avbildning basert på sekundære-elektroner optimaliseres for å få bedre romlig oppløsning? Gi tre parametere og/eller forbedringer av oppsettet. Inkluderer en begrunnelse for hvert av forslagene.

Spørsmål 2(c):

[Max. score:10 poeng]

Hva er masse-tykkelseskontrast i transmisjonselektronmikroskopi (TEM)? Inkluder en skisse som viser prinsippet i svare ditt.
Når opptrer denne typen kontrast?
Gi et eksempel på hva som kan gjøres for å forbedre/forsterke kontrasten?

Spørsmål 2(d):

[Max. score:10 poeng]

Forklar hva som begrenser romlig oppløsning, dvs. analysert volum, for elektrondiffraksjon i TEM.
Beskriv og forklar en metode for å få en høyere romlig oppløsning med elektrondiffraksjon i TEM.

OPPGAVE 3: Spektroskopi**Spørsmål 3(a):**

[Max. score:10 poeng]

Skisser et energi-dispersiv spektroskopi (EDS/EDX) spekter av en zirkonium (Zr) prøve på et Cu TEM-gitter. Inkluder i) det kontinuerlige bakgrunnssignalet, ii) Zr-K familien ($K\alpha = 15,75$ keV) og iii) Zr-L familien ($L\alpha = 2,04$ keV), iv) et svakt Cu "stray signal" ($K\alpha = 8,04$ keV, $L\alpha = 0,93$ keV) og v) en Si "escape peak". Forklar din posisjonering av disse fem signalene.

Spørsmål 3(b):

[Max. score:10 poeng]

Forklar hvordan en to-dimensjonal EDX avbildning, for eksempel i en SEM, blir dannet.
Hva er utfordringen når dette skall gjøres kvantitativt?

Spørsmål 3(c):

[Max. score:10 poeng]

Den primære elektronstrålens energitap gjennom prøven kan analyseres i TEMer med et energi-filter. Forklar hvordan energi filtrerte TEM (ikke STEM-baserte) -bilder blir dannet.
Gi og forklar et eksempel på hva slike energifiltrerte bilder kan vise.

OPPGAVE 4: Fokusert ionestråleinstrument (FIB)**Spørsmål 4(a):**

[Max. score:10 poeng]

Nevn tre forskjeller mellom elektroner som brukes i en SEM og Ga-ioner som brukes i et fokusert ionestråleinstrument (FIB).

For hvert av de gitte svarene, hvordan påvirker disse forskjellene enten strålens vekselvirking med prøven eller design av mikroskopet?

Spørsmål 4(b):

[Max. score:10 poeng]

For ionesputtering i en FIB, hvordan er sputringsraten ("milling rate") avhengig av ionenes primærenergi E_0 ?

Hvordan er sputringsraten avhengig av vinkelen mellom ionestrålen og prøveoverflaten?

Hvordan er antall detekterte sekundær-elektroner avhengig av kristallgitterets orientering?

Spørsmål 4(c):

[Max. score:10 poeng]

Hvordan kan en FIB brukes til å deponere materiale? Inkluder de fire trinnene i ione-assistert deponering i svaret.

Gi en fordel og en ulempe ved deponering materialer ved hjelp av FIB.

OPPGAVE 5: Sveipeprobemikroskopi (SPM)**Spørsmål 5(a):**

[Max. score:5 poeng]

Oppgi og forklar en "feil" som forårsakes av en ufullkommen måte å sveipe proben eller prøven på. En skisse kan inkluderes i svaret.

Spørsmål 5(b):

[Max. score:7.5 poeng]

Hva er faseavbildning innen atomkraftmikroskopi (AFM)? Hva slags tilleggsinformasjon kan det gi utover standard AFM?

Spørsmål 5(c):

[Max. score:7.5 poeng]

Ved hjelp av prinsippet bak sveipetunneleringsmikroskopi (STM), forklar hvorfor prøvene for STM må være ledende.

Hvorfor gjøres stort sett STM i ultra-høyt vakuum (UHV)?

Spørsmål 5(c) er siste spørsmål av eksamen.