**שם הקורס**: **מיקרוסקופית אלקטרונים חודרת אנליטית לאפיון חומרים בקנה מידה ננומטרי**

**מס' הקורס**:**\_\_\_365-2-6906\_\_**

נקודות זכות:3

ECTS:5

שנה אקדמית: 2012-2013

סמסטר: חורף

שעות: 3 שעות בשבוע, ימי שני בין 3 ל- 6 אחה"צ.

מיקום: יקבע

שפת הוראה: עברית (או אנגלית, לפי בקשת הסטודנטים)

תואר: שני /שלישי

איפיון הקורס: קורס מתקדם עבור סטודנטים לתארים גבוהים במחלקה להנדסת חומרים.

דיסציפלינה: הנדסת חומרים.

מחלקה אחראית: הנדסת חומרים.

דרישות קדם: קורס בסיסי במיקרוסקופית אלקטרונים דוגמת 365-1-4611, בהתייעצות עם המרצה.

מפתח הציונים: הציון יקבע לפי טווח של 0-100 (0 כישלון ו- 100 הצלחה מלאה). ציון המעבר הוא 75.

שם המרצה: ד"ר עמית כהן

פרטי קשר חדר 207, בניין 51

טלפון במשרד: 08-6428610

דוא"ל: akohn@bgu.ac.il

שעות קבלה: 10 בבוקר ל12 בצהריים.

הערכת הקורס: בסיומו של הקורס הסטודנטים יעריכו את הקורס על מנת להסיק מסקנות לטובת צרכי האוניברסיטה.

אישור הקורס: הקורס אושר על ידי ועדת הוראה פקולטית עבור 2012-2013

עדכון אחרון: התאריך האחרון בו עודכן הסילבוס

תאריך עדכון אחרון: 06.08.2012

תיאור הקורס: הקורס סוקר מתודולוגיות אנליטיות המשמשות במיקרוסקופיה מתקדמת של אלקטרונים חודרים (TEM) ואלקטרונים חודרים סורקים (STEM). שיטות אנליטיות אלו מאפיינות את ההרכב, המבנה, הקישור הכימי, המבנה האלקטרוני, שדות חשמליים ומגנטיים ברזולוציה לטרלית בקנה מידה ננומטרי עד אטומי.

החלק הראשון של הקורס עוסק במכשור (דוגמת מקור האלקטרונים, מערכת הווקום וכו') וכן דרישות המעבדה לצורך מדידות S/TEM אנליטיות.

החלק השני מתאר ומשווה בין שיטות הדמיה ופונקציות מעבר הקונטרסט (contrast transfer function) הן בקונטרסט פאזה (high resolution TEM) וב- high-angle annular dark-field STEM. במיוחד, יתואר ויוערך ההשפעה של תיקון האברציה הספרית של עדשת האובייקטיב.

החלק השלישי של הקורס הוא ספקטרוסקופיה עם דגש על איבוד אנרגיית אלקטרונים. נדון ברקע הפיסיקלי ולאחר מכן שיטות מעשיות לעיבוד המידע יתוארו לצורך חישוב ההרכב והערכת המבנה האלקטרוני של החומר.

בחלק הרביעי, נדון במיקרוסקופית פאזה ברזולוציית ביניים לצורך מיפוי שדות חשמליים ומגנטיים: לורנץ TEM ו- off-axis electron holography.

מטרות הקורס:

הסטודנטים ילמדו שיטות ניסיוניות למיקרוסקופית TEM אנליטית ו TEM סורק לצורך אפיון חומרים ברזולוציה לטרלית בקנה מידה ננומטרי עד אטומי. הקורס ישלב רקע תאורטי עם גישות שימושיות למדידות ועיבוד מידע שיאפשרו להבין דיווחים בספרות על ניסויים וכן לתכנן ניסויים באמצעות המתודולוגיות הנ"ל.

יעדי הקורס:

הסטודנטים יכירו שיטות מודרניות וחדשניות של S/TEM אנליטי לצורך אפיון חומרים ברזולוציה לטרלית בקנה מידה ננומטרי עד אטומי.

תשומות למידה:

עם סיום הקורס בהצלחה יוכל הסטודנט:

1. לתאר, ברמה בסיסית, את המערך האופטי ואופן הכיוון של מיקרוסקופ אלקטרונים חודר (TEM) ו- TEM סורק (STEM) .
2. להסביר את אופני הקונטרסט הבאים וכן את ה contrast transfer function שלהם: phase contrast, high-angle annular dark-field.
3. לתאר את עקרונות העבודה של ספקטרומטרים מסוג EELS ו- EDS ב S/TEM.
4. לתאר מנגנוני פיזור אי-אלסטיים הנמדדים ב EELS.
5. לתאר שיטות לעיבוד מדידות ב EELS לצורך כימות הרכב ואפיון קישור כימי.
6. לתכנן ניסוי לאפיון חומרים ברזולוציה בקנה מידה ננומטרי.

נהלי נוכחות: נוכחות חובה ב80% מהשיעורים, סטודנט שלא נוכח ב80% מהשיעורים לא יוכל לגשת למבחן.

אופן ההוראה: שיעורים פרונטליים, סיור והדגמה מעשית על S/TEM אנליטי.

הערכת הסטודנטים בקורס:

1. פרויקט, הכולל מצגת קצרה 50%
2. מבחן בעל פה 50%

 100%

מטלות הקורס:

הסטודנטים נדרשים לחזור על סיכום ההרצאות ולקרוא ביבליוגרפיה רלוונטית לאחר כל הרצאה.

לכל סטודנט תינתן מטלת פרויקט על פי אחת מהתבניות הבאות:

* הצעה לניסוי באמצעות TEM אנליטי (בעדיפות לניסוי הקשור לנושא המחקר של הסטודנט). הפרויקט יכלול רקע קצר על המוטיבציה המדעית, מטרת הניסוי, נימוק הסיבות לבחירת שיטה אנליטית מסוימת, תכנון ניסוי מפורט, שיטות הנדרשות לעיבוד המידע, תוצאות מצופות וביבליוגרפיה.
* סימולציית הדמיה ב S/TEM: high-resolution (phase contrast), Fresnel contrast, HAADF STEM לפי הנחיית המרצה.
* עיבוד מידע: EFTEM או STEM EELS או STEM EDS או off-axis electron holography.

לקראת סוף הסמסטר, הסטודנטים יציגו את בחירת הפרויקט שלהם, המוטיבציה לעבודה ו-תוצאות ראשונות במהלך מצגת קצרה, כ 15-20 דקות. המצגת מיועדת בעיקר להצגת הנושא לסטודנטים האחרים ולמרצה כדי לוודא את התאמת הנושא לקורס.

הזמן הנדרש לעבודה עצמית בבית: בנוסף לעבודתו בכיתה, כל סטודנט נדרש לעבודה וביצוע מטלות בהיקף של כ3 שעות בשבוע.

תוכן הקורס/ מבנה הקורס

הגדרה של TEM אנליטי; הסבר המוטיבציה למתן הקורס.

* מיקרוסקופית אלקטרונים חודרת וציוד נלווה:

מקורות אלקטרונים, רזולוציה אנרגטית ומונוכרומטור. (3 שעות)

שיטות הדמיה: TEM ו- TEM סורק (STEM). (3 שעות)

תיקון של אברציה ספרית וההשלכות למיקרוסקופיה אנליטית. (3 שעות).

ציוד ספקטרוסקופיה: מדידת energy dispersive x-ray, ו- electron energy loss (לאחר ובתוך העמודה). (3 שעות)

* הרכב, קישור כימי, מבנה אלקטרוני:

EDS (3 שעות)

EELS (6 שעות)

Spectrum imaging (EDS and EELS), Energy-filtered TEM. (3 שעות).

High angle annular dark-field STEM (6 שעות)

* הדמיה של שדות חשמליים ומגנטיים (3 שעות)

Electron holography

Lorentz TEM

* מעבדה מעשית ב JEOL 2100F S/TEM כולל עיבוד מידע (3 שעות)
* הצגת הפרויקטים (3-4 שעות כתלות במספר הסטודנטים הרשומים)
* אם יתאפשר בזמן:

טומוגרפיה: שחזור תלת-ממדי של מבנים בקנה מידה ננומטרי באמצעות מדידות אנליטיות.

שיטות לעיבוד מידע (3 שעות)

רשימת קריאה:

• R.F. Egerton, Electron energy-loss spectroscopy in the TEM, Rep. Prog. Phys. 72 (2009) 016502 (25pp)

• V. J. Keast, A. J. Scott, R. Brydson, D. B. Williams, and J. Bruley, Electron energy-loss near edge structure – a tool for investigation of electronic structure on the nanometer scale, J. of Microscopy 2001. 203:135-175

• N. D. Browning, I. Arslan, P. Moeck, and T. Topuria, Atomic Resolution Scanning Transmission Electron Microscopy, Phys. Stat. Sol. (b) 227, No. 1, 229–245 (2001).

• Pennycook, S. J., Lupini, A.R., Varela, M., Borisevich, A. Y., Peng, Y., Oxley, M.P., van Bentham, K., and Chisholm, M. F. (2007) Scanning transmission electron microscopy for nanostructure characterization. In “Scanning Microscopy for Nanotechnology: Techniques and Applications” (Zhou, W. and Wang, Z. L., eds.) Springer, New York, Ch. 6, pp 152-191

• Martha R. McCartney and David J. Smith, Electron Holography: Phase Imaging with Nanometer Resolution, Annu. Rev. Mater. Res. 2007. 37:729–67

קריאה נוספת:

• Williams and Carter, ‘Transmission Electron Microscopy’, 2nd Edition, Springer

• Rik Brydson, Electron Energy Loss Spectroscopy, Taylor & Francis

• R. F. Egerton, Electron Energy Loss Spectroscopy in the Electron Microscope, 2nd Edition, Plenum Press

**\*כל חומרי ועזרי הלמידה יהיו זמינים לסטודנטים באתר הקורס/ בספריה/ במחלקה/ במאגרי מידע אלקטרונים הזמינים לסטודנטים באב"ג**