

KEK Proceedings 2007-15

February 2008

M



ナノテクノロジー総合支援プロジェクトワークショップ

## LEEM/PEEM を用いた表面研究の新しい展開

*Progresses in low energy electron microscopy  
and photoemission electron microscopy studies (LEEM & PEEM)*

平成17年10月12日(水)、13日(木)

高エネルギー加速器研究機構

越川孝範、安江常夫、小林啓介、木下豊彦、小野寛太



High Energy Accelerator Research Organization

**High Energy Accelerator Research Organization (KEK), 2008**

KEK Reports are available from:

High Energy Accelerator Research Organization (KEK)  
1-1 Oho, Tsukuba-shi  
Ibaraki-ken, 305-0801  
JAPAN

Phone: +81-29-864-5124  
Fax: +81-29-864-4602  
E-mail: [irdpub@mail.kek.jp](mailto:irdpub@mail.kek.jp)  
Internet: <http://www.kek.jp>

## 目 次

プログラム.....	1
(依頼講演) 放射光光電子顕微鏡によるナノイメージング・ナノ分光法 尾嶋正治 (東大工) .....	3
NiO(100)へき開表面における反強磁性磁区ドメインの詳細観察 奥田太一 (東大物性研) .....	4
NiO(100)表面における反強磁性磁区ドメインの加熱効果の観察 新井邦明 (東大物性研) .....	5
(依頼講演) LEEM 用スピン偏極電子源の開発 中西 彊 (名大理) .....	6
(特別講演) スピン SEM の最近の進展 小池和幸 (北海道大) .....	7
光電子顕微鏡 (PEEM) を用いた鉄隕石 (FeNi) の局所構造解析と磁区構造解析 小嗣真人 (広大放射光) .....	8
(講義) 光電子顕微鏡による超高速現象の観察 小野寛太 (KEK) .....	9
放射光光電子顕微鏡による強相関酸化物薄膜の磁区観測 組頭広志 (東大工) .....	10
光電子顕微鏡を用いた界面ナノ構造のイメージング 谷内敏之 (東大) .....	11
(依頼講演) ナノスケール磁性体のスピンドイナミクス 木村 崇 (東大物性研) .....	12
試料電界強度を制御した PEEM による絶縁物観察への展開 吉川英樹 (物材機構) .....	13
多極子 Wien filter EXPEEM の開発と表面触媒反応 朝倉清高 (北大触媒セ) .....	14
LEEM/PEEM における検出器による分解能劣化 清水 宏 (アルバック・ファイ株式会社) .....	15
(依頼講演) Au-Si 合金島の原子ステップへの配列 日比野浩樹 (NTT 物性科学基礎研) .....	16
LEEM in-situ observation of the growth of implant source grown Ga nanodots on SiO <sub>2</sub> R.Buckmaster1 (東北大金研) .....	17
ペンタセン薄膜成長過程の LEEM および STM による微視的解析 藤川安仁 (東北大金研) .....	18
In/Cu(001)および Sn/Cu(001)表面における相転移の LEEM 観察 八田振一郎 (京大) .....	19
Pb/W(110)成長過程における LEEM のステップコントラスト反転 安江常夫 (大阪電通大) .....	20
ポスターセッション	
LEEM、制限視野 LEED および化学分析 SR-XPEEM を用いた In/Si(111)上の Sb の成長過程の動的観察 中口明彦 (大阪電通大) .....	21
LEEM および制限視野 LEED による W(110)上の Cu 二重層構造変化 中口明彦 (大阪電通大) ..	22
PEEM・LEEM によるグラファイト基板上のペンタセン薄膜成長 塩野入正和 (千葉大工) .....	23
Availability of PEEM to detect electric field of p+n-Si(100) substrates H.Fukidome (豊田工大) .....	24
Cu/W(110)における UV-PEEM コントラストメカニズム 安江常夫 (大阪電通大) .....	25
UV-PEEM による反強磁性ドメインの直接観察 郭方准 (JASRI) .....	26
HiSOR における低温光電子顕微鏡 (LT-PEEM) の開発 小嗣真人 (広大放射光) .....	27
放射光 SPELEEM を用いた In/Si(111)の高分解能化学効果の観察 清水 宏 (大阪電通大) .....	28
PF 研究会報告 .....	29

## プログラム

10月12日(水)

- 13:00 - 13:40 【依頼講演】「放射光光電子顕微鏡によるナノイメージング・ナノ分光法」  
尾嶋正治 (東大工)
- 13:40 - 14:00 「NiO(100)へき開表面における反強磁性磁区ドメインの詳細観察」  
奥田太一<sup>1</sup>、孫海林<sup>1</sup>、宮田洋明<sup>2</sup>、清水宏<sup>3,\*</sup>、中口明彦<sup>3</sup>、  
越川孝範<sup>3</sup>、郭方准<sup>4</sup>、松下智裕<sup>4</sup>、為則雄祐<sup>4</sup>、室隆桂之<sup>4</sup>、  
小林啓介<sup>4</sup>、木下豊彦<sup>1,4</sup> ( <sup>1</sup>東大物性研、<sup>2</sup>東レ、<sup>3</sup>大阪電通大、<sup>4</sup>JASRI、\*現 アルバック・ファイ (株) )
- 14:00 - 14:20 「NiO(100)表面における反強磁性磁区ドメインの加熱効果の観察」  
新井邦明<sup>1</sup>、蔵圭司<sup>1</sup>、前田勇樹<sup>1</sup>、奥田太一<sup>1</sup>、柿崎明人<sup>1</sup>、  
孫海林<sup>1</sup>、宮田洋明<sup>2</sup>、郭方准<sup>3</sup>、脇田高德<sup>3</sup>、小林啓介<sup>3</sup>、  
木下豊彦<sup>1,3</sup> ( <sup>1</sup>東大物性研、<sup>2</sup>東レ、<sup>3</sup>JASRI )
- 14:20 - 15:00 【依頼講演】「LEEM用スピン偏極電子源の開発」 中西 彊 (名大理)
- 15:00 - 15:20 休憩
- 15:20 - 16:10 【特別講演】「スピン SEM の最近の進展」 小池和幸 (北海道大)
- 16:10 - 16:30 「光電子顕微鏡 (PEEM) を用いた鉄隕石 (FeNi) の局所構造解析と磁区構造解析」  
小嗣真人<sup>1</sup>、脇田高德<sup>2</sup>、谷内敏之<sup>3</sup>、小野寛太<sup>4</sup>、鈴木基寛<sup>2</sup>、  
河村直己<sup>2</sup>、高垣昌史<sup>2</sup>、谷口雅樹<sup>5</sup>、小林啓介<sup>2</sup>、石松直樹<sup>5</sup>、  
圓山裕<sup>5</sup> ( <sup>1</sup>広大放射光、<sup>2</sup>JASRI、<sup>3</sup>東大工、<sup>4</sup>高エ研、<sup>5</sup>広大 )
- 16:30 - 18:30 ポスターセッション
- 「LEEM、制限視野 LEED および化学分析 SR-XPEEM を用いた In/Si(111)上の Sb の成長過程の動的観察」  
中口明彦<sup>1</sup>、郭方准<sup>2</sup>、橋本道廣<sup>1</sup>、上田将人<sup>1</sup>、安江常夫<sup>1</sup>、木下豊彦<sup>2</sup>、  
小林啓介<sup>2</sup>、越川孝範<sup>1</sup> ( <sup>1</sup>大阪電通大、<sup>2</sup>JASRI )
  - 「LEEM および制限視野 LEED による W(110)上の Cu 二重層構造変化」  
中口明彦<sup>1</sup>、清水宏<sup>1,\*</sup>、高橋宏彰<sup>1</sup>、E.Bauer<sup>2</sup>、安江常夫<sup>1</sup>、越川孝範<sup>1</sup>  
( <sup>1</sup>大阪電通大、<sup>2</sup>アリゾナ州立大、\*現 アルバック・ファイ (株) )
  - 「PEEM・LEEMによるグラファイト基板上のペンタセン薄膜成長」  
塩野入正和、小笹桃子、富山直之、解良聡、奥平幸司、上野信雄  
(千葉大工)
  - 「Availability of PEEM to detect electric field of  $p^+n$ -Si(100) substrates」  
H.Fukidome, M.Yoshimura and K.Ueda (豊田工大)
  - 「Cu/W(110)における UV-PEEM コントラストメカニズム」  
安江常夫<sup>1</sup>、清水宏<sup>1,\*</sup>、中口明彦<sup>1</sup>、高橋宏彰<sup>1</sup>、E.Bauer<sup>2</sup>、越川孝範<sup>1</sup>  
( <sup>1</sup>大阪電通大、<sup>2</sup>アリゾナ州立大、\*現 アルバック・ファイ (株) )
  - 「UV-PEEMによる反強磁性ドメインの直接観察」  
郭方准<sup>1</sup>、孫海林<sup>2</sup>、奥田太一<sup>2</sup>、小林啓介<sup>1</sup>、木下豊彦<sup>1</sup> ( <sup>1</sup>JASRI、<sup>2</sup>東大物性研 )
  - 「HiSORにおける低温光電子顕微鏡 (LT-PEEM) の開発」  
小嗣真人<sup>1</sup>、朝直俊介<sup>2</sup>、木村昭夫<sup>2</sup>、澤田正博<sup>1</sup>、生天目博文<sup>1</sup>、  
谷口雅樹<sup>2</sup> ( <sup>1</sup>広大放射光、<sup>2</sup>広大 )
  - 「放射光 SPELEEM を用いた In/Si(111)の高分解能化学効果の観察」  
清水宏<sup>1,\*</sup>、中口明彦<sup>1</sup>、郭方准<sup>2</sup>、脇田高德<sup>2</sup>、安江常夫<sup>1</sup>、小林啓介<sup>2</sup>、E.Bauer<sup>3</sup>、  
越川孝範<sup>1</sup> ( <sup>1</sup>大阪電通大、<sup>2</sup>JASRI、<sup>3</sup>アリゾナ州立大、\*現アルバック・ファイ (株) )
- 18:30 - 20:00 懇親会

10月13日(木)

- 9:00 - 9:35 【講義】「光電子顕微鏡による超高速現象の観察」  
小野寛太 (KEK)
- 9:35 - 9:55 「放射光光電子顕微鏡による強相関酸化物薄膜の磁区観測」  
組頭広志<sup>1</sup>、谷内敏之<sup>1</sup>、脇田高德<sup>2</sup>、横谷尚睦<sup>3</sup>、久保田正人<sup>4</sup>、小野寛太<sup>4</sup>、  
尾嶋正治<sup>1</sup>、Mikk Lippmaa<sup>5</sup>、川崎雅司<sup>6</sup>、鯉沼秀臣<sup>7</sup> ( <sup>1</sup>東大工、<sup>2</sup>JASRI、<sup>3</sup>岡  
山大理、<sup>4</sup>高エ研、<sup>5</sup>東大物性研、<sup>6</sup>東北大金研、<sup>7</sup>物材機構)
- 9:55 - 10:15 「光電子顕微鏡を用いた界面ナノ構造のイメージング」  
谷内敏之<sup>1</sup>、脇田高德<sup>2</sup>、鈴木基寛<sup>2</sup>、河村直巳<sup>2</sup>、高垣昌史<sup>2</sup>、  
佐藤平道<sup>3</sup>、若山貴行<sup>3</sup>、小林啓介<sup>2</sup>、尾嶋正治<sup>1</sup>、秋永広幸<sup>3</sup>、  
小野寛太<sup>4</sup> ( <sup>1</sup>東大、<sup>2</sup>JASRI、<sup>3</sup>産総研、<sup>4</sup>KEK-PF)
- 10:15 - 10:35 休憩
- 10:35 - 11:10 【依頼講演】「ナノスケール磁性体のスピンドYNAMICS」  
木村 崇、大谷義近 (東大物性研)
- 11:10 - 11:30 「試料電界強度を制御した PEEM による絶縁物観察への展開」  
吉川英樹<sup>1</sup>、安福秀幸<sup>1</sup>、木村昌弘<sup>1</sup>、田村圭司<sup>2</sup>、志水隆一<sup>2</sup>  
(<sup>1</sup>物材機構、<sup>2</sup>大工大)
- 11:30 - 11:50 「多極子 Wien filter EXPEEM の開発と表面触媒反応」  
朝倉清高、新美大伸、宮本剛志 (北大触媒セ)
- 11:50 - 12:10 「LEEM/PEEM における検出器による分解能劣化」  
清水宏<sup>1\*</sup>、安江常夫<sup>1</sup>、越川孝範<sup>1</sup> ( <sup>1</sup>大阪電通大、\*現 アルバック・ファイ (株))
- 12:10 - 13:10 昼食
- 13:10 - 13:45 【依頼講演】「Au-Si 合金島の原子ステップへの配列」  
日比野浩樹<sup>1</sup>、渡辺義夫<sup>2</sup> ( <sup>1</sup>NTT物性科学基礎研、<sup>2</sup>NTT-AT)
- 13:45 - 14:05 「LEEM in-situ observation of the growth of implant source grown Ga nanodots on SiO<sub>2</sub>」  
R.Buckmaster<sup>1</sup>、F.-Z.Guo<sup>2</sup>、K.Kobayashi<sup>2</sup> and T.Yao<sup>1</sup> ( <sup>1</sup>東北大金研、<sup>2</sup>JASRI)
- 14:05 - 14:25 「ペンタセン薄膜成長過程の LEEM および STM による微視的解析」  
藤川安仁、J.T.Sadowski、櫻井利夫 (東北大金研)
- 14:25 - 14:45 「In/Cu(001)および Sn/Cu(001)表面における相転移の LEEM 観察」  
八田振一郎<sup>1</sup>、郭方准<sup>2</sup>、奥山弘<sup>1</sup>、有賀哲也<sup>1</sup> ( <sup>1</sup>京大、<sup>2</sup>JASRI)
- 14:45 - 15:05 「Pb/W(110)成長過程における LEEM のステップコントラスト反転」  
安江常夫<sup>1</sup>、天川良太<sup>1</sup>、清水宏<sup>1\*</sup>、中口明彦<sup>1</sup>、高橋宏彰<sup>1</sup>、E.Bauer<sup>2</sup>、越川  
孝範<sup>1</sup> ( <sup>1</sup>大阪電通大、<sup>2</sup>アリゾナ州立大、\*現 アルバック・ファイ (株))

## 放射光光電子顕微鏡によるナノイメージング・ナノ分光法

東京大学大学院工学系研究科 尾嶋正治

ナノテクノロジーの進歩に伴い、ナノ領域だから発現する機能や物性を用いたデバイスの開発が急ピッチで進められている。我々は10年以上前に数10nmサイズの半導体量子ドットの電子状態を解析する目的で、Schwarzschild objectivesで約100nmに集束させた放射光を用いる走査型光電子顕微鏡(SES200 光電子アナライザー付)を開発し、量子ナノ構造解析を試みた。PEEMには1)空間分解能、2)エネルギー分解能、3)時間分解能の3要素が重要であるが、このプロジェクトではエネルギー分解能はまずまずであったが軸合わせの困難さや測定時間に問題があり、実用的PEEMとはならなかった。

そこで、Pt上CO酸化反応解析などに威力を発揮し、さらに急速な進歩を遂げている投影型PEEMに着目し、PEEMSPECTORを使ったmobile PEEMを共同開発した。空間分解能は50nm以下が得られ、また実時間モニターも可能である。このシステムによって、1)円偏光や直線偏光放射光を用いたMCD,MLD磁化イメージング(パーマロイ、NiO単結晶、 $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ 強相関係薄膜、鉄隕石など)、2)磁気ナノ構造による磁化カイラリティ制御素子の開発とその実証、3)LSI用ゲート絶縁膜中相分離の解析、などを行っている。

一方、デバイス中のナノ構造がどのような物性を示すかを解明するには埋もれた状態での磁気状態、化学状態、電子状態を明らかにする必要がある。そこで、硬X線を用いた埋め込みナノ構造のイメージングを試み、200nm以下の領域に埋め込まれたAuナノ構造を明瞭に観測することに成功している。現在、埋め込み磁気ナノ構造の解析について検討を進めている。

これらナノイメージングとともに、微小領域におけるspectroscopyは今後の展開が大いに期待される分野であり、高いエネルギー分解能でのナノ領域光電子分光、およびナノ領域のXAFS解析(ナノXAFS)が注目されている。ただし、上記3要素全てにおいて高い分解能を実現することは極めて困難であるため、その技術が最も威力を発揮する試料やサイエンスを注意深く選択することが重要であろう。今後の展開としては、不均一触媒表面反応の解析、特殊ナノ構造中磁化反転ダイナミクスの解析、ナノバイオ試料の観察、LSIチャンネル領域の動的解析など新しい研究分野が目白押しで、高輝度放射光の重要性がますます高まるものと思われる。

本研究はKEK-PF小野助教授、東大工組頭講師、谷内君、広島大小嗣講師、JASRI木下氏、脇田氏たちと行ったものである。また、科研費基盤研究(S)「放射光光電子顕微鏡によるナノ分光法の開発」の支援で研究を進めている。

## NiO(100)へき開表面における反強磁性磁区ドメインの詳細観察

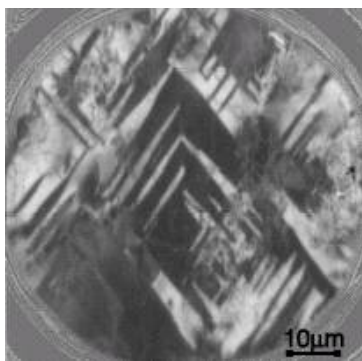
東大物性研<sup>1</sup>、東レ<sup>2</sup>、大阪電通大<sup>3</sup>、JASRI<sup>4</sup>

奥田太一<sup>1</sup>、孫海林<sup>1</sup>、宮田洋明<sup>2</sup>、清水宏<sup>3</sup>、中口明彦<sup>3</sup>、越川孝範<sup>3</sup>、郭方准<sup>4</sup>、松下智裕<sup>4</sup>、  
為則雄祐<sup>4</sup>、室隆桂之<sup>4</sup>、小林啓介<sup>4</sup>、木下豊彦<sup>1, 4</sup>

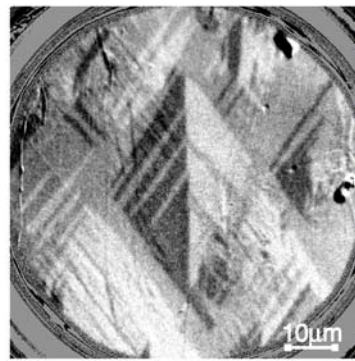
われわれはこれまでに、放射光の偏光特性を光電子顕微鏡 PEEM と組み合わせ、磁区観察を行ってきた[1]。最近では、磁気線 2 色性(Magnetic Linear Dichroism; MLD)を利用した反強磁性体の磁区観察も行っている。最近、反強磁性体 NiO の磁区観察を行い、その表面上に磁性体薄膜をのせた際の磁区構造の変化から、Ni の *L* 吸収端の MLD を用いて観察した際には、*T*ドメインと *S*ドメインが、酸素の *K* 吸収端の線 2 色性(LD)を用いた際には *T*ドメインのみの情報を得ていることを示した。ここで、*T*ドメインとは、NiO の反強磁性相互作用により結晶歪がおこり、そのために *T*win が生じることで現れる反強磁性磁区ドメインのことであり、NiO の場合には4本の $\langle 111 \rangle$ 方向に沿って結晶がひずむことで現れる。一方、*S*ドメインは、各(111)面内の3種類の容易磁化方向、 $\langle 112 \rangle$ にスピンのそろいことで現れる。すなわち合計12種類の反強磁性磁区ドメインが存在することになる。

われわれは、今回 SPring-8 に導入された SPELEEM 装置を BL27SU に持ち込み、直線偏光を用いてこれらのドメインの詳細な観察ができることを明らかにした。

図にNi *L*<sub>2</sub> 級終端のMLDを用いた *T*&*S*ドメインのイメージと、O *K* 吸収端のLDを用いた *T*ドメインのイメージを示す。*T*ドメインでは、この実験配置の場合で3種類のコントラストが現れており、計算で予想される結果と一致している。一方、*S*ドメインでははるかに多くのコントラストが存在し、細かい*S*ドメインの構造が見えていることがわかる。これほどまでに *T*&*S*ドメインを区別して細かく報告した例はこれまでにないと思われる。



Ni *L*<sub>2</sub> edgeで観察した *T*&*S*ドメイン



O *K* edgeで観察した *T*ドメイン

[1] T. Kinoshita et al., J. Phys. Soc. Jpn. 73 (2004) 2932.

## NiO(100)表面における反強磁性磁区ドメインの加熱効果の観察

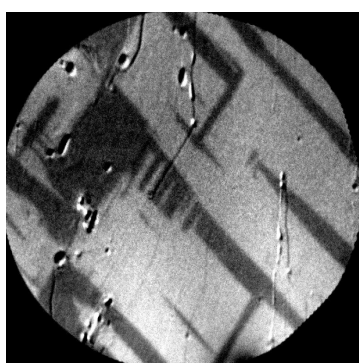
東大物性研<sup>1</sup>、東レ<sup>2</sup>、JASRI<sup>3</sup>

新井邦明<sup>1</sup>、蔵圭司<sup>1</sup>、前田勇樹<sup>1</sup>、奥田太一<sup>1</sup>、柿崎明人<sup>1</sup>、孫海林<sup>1</sup>、宮田洋明<sup>2</sup>、郭方准<sup>3</sup>、  
脇田高德<sup>3</sup>、小林啓介<sup>3</sup>、木下豊彦<sup>1, 3</sup>

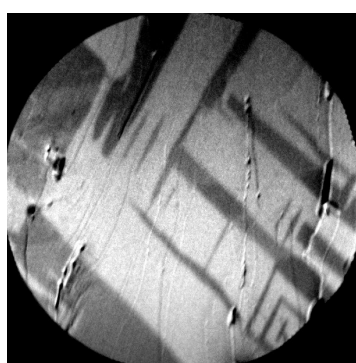
近年、磁気抵抗効果を利用した磁気記録媒体の基板として反強磁性体の磁区構造に興味が集まっている。強磁性体同様、ネール温度前後の温度変化に伴い、相転移が起こるはずであるが、その反強磁性磁区構造が可逆的に変化をするのか、非可逆的なのかを調べることは重要な問題である。以前、光電子顕微鏡(PEEM)と放射光を用いた磁区観察の結果からは[1]、磁区構造が可逆的な変化を示し、結晶を作成したときの歪を反映した磁区を示すとされていた。われわれは、SPring-8に導入されたPEEMを使うことで、詳細な磁区ドメイン観察が可能になったので[2]、今回その加熱前後における磁区構造を調べてみた。

実験は、BL25SU&27SUのPEEM装置を用いた。ネール温度(約530K)以上にアニールをし、その加熱前後での磁区ドメインの変化の観察を行った。Niの $L_2$ 吸収端、OK吸収端に相当する直線偏光軟X線による磁気二色性を用いて、磁区構造観察を行った。

下の図は、アニール前と後の、OK吸収端での磁区ドメインである。図のように、アニール後のOK吸収端でTドメインが変化することが確認できた。また、それに伴い、Niの $L_2$ 吸収端での磁区ドメインでは、Sドメインの変化が見られた。これは以前の報告[1]と異なる結果であり、研究会では、これらの詳細な実験結果を発表する。



アニール前のOK吸収端での  
磁区ドメイン



アニール後のOK吸収端での  
磁区ドメイン

[1] F.U.Hillebrecht et al., Phys. Rev. Lett. 86 (2001)3419.

[2] 奥田太一ほか、本研究会講演。



## LEEM 用スピン偏極電子源の開発

名古屋大学・大学院理学研究科 中西 疆

スピン偏極電子ビームは、1970 年代後半に高エネルギー加速器分野で実用化され、電磁的相互作用と弱い相互作用を統一的に理解する標準理論の確立に重要な貢献をした。このとき使われたのが、円偏光レーザーで GaAs 結晶を照射し偏極電子を生成するいわゆる GaAs 型偏極電子源であり、円偏光の極性変換により電子ビームのヘリシティ変換が可能、量子効率が高等の利点がある一方偏極度は約 30%であった。

この偏極電子源はその後 GaAs 結晶に替わる歪み GaAs 薄膜や超格子薄膜によって偏極度の改善が図られ、現在では GaAs-GaAsP 歪み超格子薄膜によって 90%の偏極度、0.5%の量子効率が実現されている。

また、素粒子最前線を探るために建設計画が進んでいる 1TeV クラスの電子・陽電子リニアコライダーが求めるナノ秒幅の高密度マルチバンチビームの生成における障害となる表面電荷制限現象の解明と克服するための処方も見つかっている。

このように高性能化された高エネルギー加速器用偏極電子源の技術を“電子顕微鏡の偏極電子ビーム化に応用できないか”というのがここで取り上げたいテーマである。この具体的動きが、越川孝範氏(大阪電気通信大学)から持ち込まれた「Spin-LEEM の高性能化によりナノサイズ磁区構造の実時間観察を可能にしよう」という課題であったが、幸いにしてこの課題は今年度の JST-要素技術開発項目に採用されたばかりである。

私の研究室メンバーは電子顕微鏡の要求するビーム技術については全くの素人であり、今後まず試作機を設計・製作する作業のなかで徐々にノウハウを習得してゆきたいと考えている。本研究会では LEEM の要求する偏極電子ビームを生成する上で予想される問題点をこれまでの経験知識により整理してみたいと思う。

## スピン SEM の最近の進展

北大 小池和幸

磁性試料に電子を照射すると、試料内部にあって磁化の要因となっている電子が、そのスピン状態を保ったまま2次電子として放出される。したがって、走査電子顕微鏡とスピン検出器を組み合わせ、放出された2次電子のスピン状態をスピン検出器で検出して画像化すると、試料の磁区像を得ることができる。この装置は1984年に小池等によって初めて開発され<sup>1)</sup>、スピン偏極走査電子顕微鏡（スピンSEM）と名づけられた。磁区観察装置としては様々なものが知られているが、これらの装置と比べてスピンSEMは、表面感度が高い、磁化方向の直接検出ができる、表面の凹凸が大きい試料や厚い試料でもそのまま観察できる、高分解能である等優れた特徴を有する。本装置は最初の開発以来、報告者等の継続的な研究・開発によって、その性能は大きく向上し、最新装置では分解能5 nm、観察温度40～400Kが実現されている。

図1はスピンSEMで得られた、層状ペロブスカイト構造を有する $\text{Mn}_{1.36}\text{Sr}_{1.64}\text{Mn}_2\text{O}_7$ の(a)トポ像、(b)～(h)磁区像である<sup>2)</sup>。磁区像より、この物質は45～80 Kで層面法線方向に弱い磁気異方性を有する強磁性体、80 Kで相転移（メタ磁性）をおこし、80～110 Kで層状反強磁性となり、そのネール温度は110 Kであることがわかる。

本講演では、これらを含め、スピンSEMで得られた最近の結果を報告する。

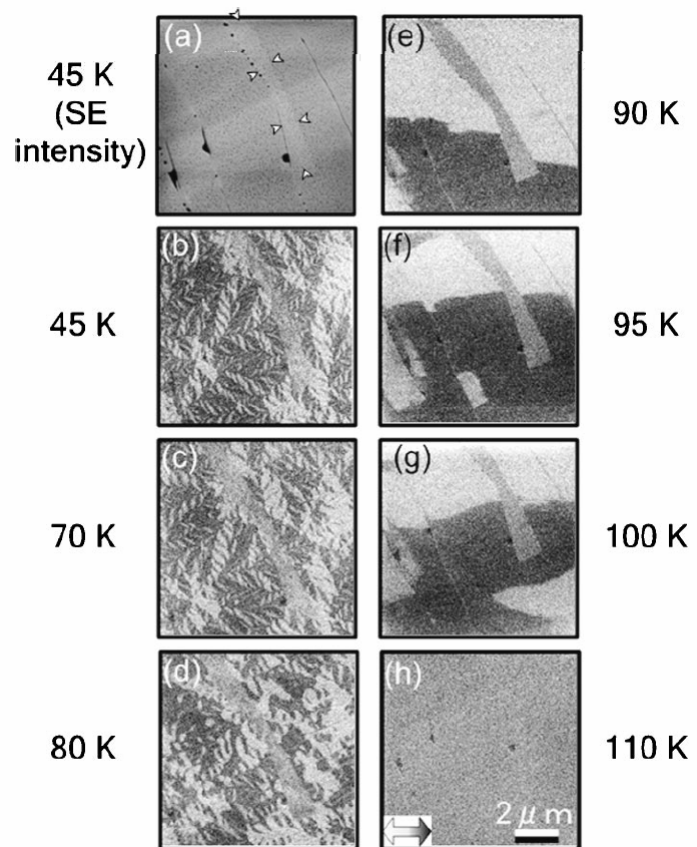


図1

- 1) K. Koike and K. Hayakawa: Jpn. J. Appl. Phys. **23**, L187(1984).
- 2) M. Konoto, T. Kohashi, K. Koike, T. Arima, Y. Kaneko, T. Kimura, and Y. Tokura, Phys. Rev. B **71**, 184441(2005).

(PEEM)

FeNi

,<sup>A)</sup>JASRI, <sup>B)</sup>, <sup>C)</sup>, <sup>D)</sup>  
A, B C, A, D, A, D, A,

40

FeNi

FeNi

PEEM

( )

FeNi

(111)

100 400 $\mu$ m

100 1

Ni



図1：鉄隕石のWidmanstaetten構造

PEEM

X

PEEM

EXAFS XANES

NanoXAFS

(MCD)

(MCD-PEEM)

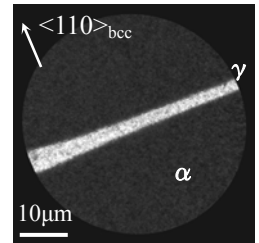


図2：鉄隕石中のNiの空間分布

Fe Ni K

NanoXAFS

Fe Ni

bcc fcc

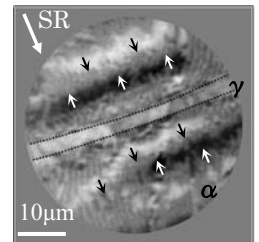


図3：α-γ界面における磁区構造

90

<110>

bcc-FeNi <100>

FeNi

<110>

# 光電子顕微鏡による超高速現象の観察

高エネルギー加速器研究機構

小野寛太

放射光を用いた光電子顕微鏡では、励起光のエネルギーを変えることで元素選択的イメージングが出来ること、偏光を用いることにより磁気イメージングが可能であることなど、通常の励起光を用いる場合に比べてさまざまな利点があるため、盛んに研究が行われている。本研究会でも、PEEMを用いたほとんどの研究で放射光が利用されているであろう。

近年、放射光の持つ特徴であるパルス性を利用した光電子顕微鏡による超高速現象の時分割測定が行われ始めている。また、さらなる時間分解能を目指しフェムト秒レーザと光電子顕微鏡を用いた時分割測定も行われ始めている。これらの時分割観察においては、ポンプ・プローブ法が用いられており、規則正しく繰り返す系の観察に限られてはいるものの、ナノ磁性体の磁化ダイナミクスの観察などでは大きな成果を集めている。しかしながら、国内ではこのような研究を進めようとする動きはあるものの研究成果が出ていないのが現状である。

そこで、本講演では始まったばかりの研究分野である、光電子顕微鏡による超高速現象の観察について、これまでの研究例および現状での最先端の研究について紹介する。また、この手法の限界がどこにあるのか、またX線自由電子レーザやERLなどの次世代光源が完成した暁にはどのような研究展開が考えられるのかということについても議論したい。

, JASRI<sup>A</sup>, <sup>B</sup>, <sup>C</sup>, <sup>D</sup>, <sup>E</sup>, <sup>F</sup>  
<sup>A</sup> <sup>B</sup> <sup>C</sup> <sup>E</sup> <sup>F</sup>

Mikk Lippmaa<sup>D</sup>

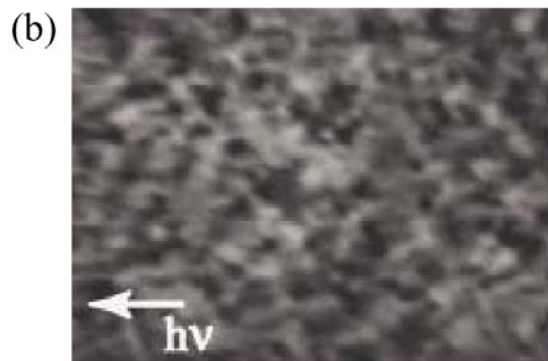
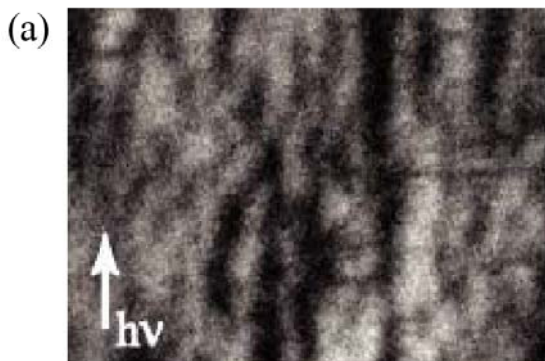
Magnetic domain observation in  $\text{La}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$  thin films grown on stepped substrates by photoelectron emission microscopy

The Univ. of Tokyo, JASRI<sup>B</sup>, Okayama Univ.<sup>A</sup>, KEK<sup>G</sup> ISSP<sup>D</sup>, Tohoku Univ.<sup>E</sup>, NIMS<sup>F</sup>,;

H. Kunigashira, T. Taniuchi, T. Wakita<sup>A</sup>, T. Yokoya<sup>B</sup>, M. Kubota<sup>C</sup>, K. Ono<sup>C</sup>,

M. Oshima, M. Lippmaa<sup>D</sup>, M. Kawasaki<sup>E</sup>, and H. Koinuma<sup>F</sup>

La<sub>1-x</sub>Sr<sub>x</sub>MnO<sub>3</sub> LSMO  
 PEEM  
 SrTiO<sub>3</sub> (001)  
 MBE LSMO x = 0.2, 0.4 [100] Spring-8 BL25SU Mn L<sub>3</sub> 642 eV  
 1 LSMO x = 0.2 160 K T<sub>c</sub> = 287  
 K 1(a) [100] 200 nm  
 10 1(b)  
 LSMO 2 3 μm 180°  
 SrTiO<sub>3</sub>



1

(a) [100] 160K

(b) La<sub>0.8</sub>Sr<sub>0.2</sub>MnO<sub>3</sub> [010]

# 光電子顕微鏡を用いた界面ナノ構造のイメージング

1 東大院工、2JASRI、3 産総研、4KEK-PF

○谷内敏之<sup>1</sup>、脇田高德<sup>2</sup>、鈴木基寛<sup>2</sup>、河村直巳<sup>2</sup>、高垣昌史<sup>2</sup>、佐藤平道<sup>3</sup>、  
若山貴行<sup>3</sup>、小林啓介<sup>2</sup>、尾嶋正治<sup>1</sup>、秋永広幸<sup>3</sup>、小野寛太<sup>4</sup>

**1 はじめに** 光電子顕微鏡 (PEEM) は主に真空紫外・軟X線領域での顕微分光法として用いられている。われわれは PEEM を硬X線領域で用いることにより、薄膜の界面などに埋め込まれた微細な構造の観察・分光が可能であると考えた。今回は硬X線 PEEM による埋め込まれた界面ナノ構造の可視化を目的として、薄膜中に埋め込んだ界面微細構造の観察を試みた。さらに異なる深さのキャップ層で埋め込まれた試料の X 線吸収スペクトルから、硬X線 PEEM のプローブ深さについて見積もった。

**2 実験方法** 図 1(a) のように試料は Si 基板上にリソグラフィにより Au の微細構造を作製した後、Co 薄膜でキャップすることで Au の微細構造を埋め込んだ。Co キャップ層の膜厚がそれぞれ 50 nm, 100 nm, 200 nm の 3 種類の試料を作製した。測定は SPring-8 BL39XU に設置した光電子顕微鏡 (Elmitec, PEEMSPECTOR) を用いて行った。

**3 結果と考察** 図 1(b) に Au の微細構造を 50 nm の Co キャップ層で埋め込んだ試料の PEEM 像を示す。測定は Au L 吸収端近傍の X 線を用いて行った。図の明るい部分は埋め込まれた Au の微細構造である。50 nm のキャップ層で埋め込まれていても、界面の Au の微細構造を明瞭に観察することが出来た。さらに、Au 吸収端の上下で得られた像の差分をとることにより、Au に由来するコントラストのみを抽出することが出来る。また 100 nm, 200 nm の厚いキャップ層で埋め込んだ試料においても同様に Au の微細構造を明瞭に観察することに成功した。以上の結果から、硬X線領域で PEEM を用いることにより、埋め込まれた界面微細構造の元素選択的なイメージおよびX線吸収スペクトルを得られることが分かった。講演では硬X線 PEEM のプローブ深さとメカニズムについても議論する。

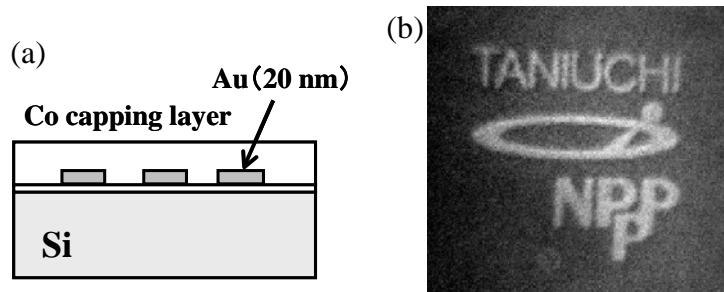


図 1 光電子顕微鏡を用いて観察した Co 薄膜 (50 nm) 下の埋め込み Au 微細構造。(a) 模式図と (b) 光電子像。Co キャップ層は 50 nm。光子エネルギーは Au  $L_3$  吸収端 (11.97 ke)。

# ナノスケール磁性体のスピンドYNAMIX

東京大学物性研究所 木村崇、大谷義近

ナノスケールで形状制御された磁性体では、静磁エネルギーが支配的になり、交換エネルギーとの競合から、単磁区構造や磁壁を一つだけ内包する二磁区状態など、磁区構造は比較的単純になる。直径がサブミクロンスケールの磁気円盤では、Fig.1 のような磁気渦構造が安定する。磁気渦における渦中心の吹き出し磁化は、占有体積が非常に小さく、高い保磁力を有する。また、外部に漏れ磁場を発生させないことから、基礎物理学的な観点からでなく応用的観点からも興味深い。本講演では、磁気円盤の静的、及び動的磁化特性について、我々の研究室での結果を中心に紹介する。

磁気円盤は、吹き出し磁化の分極とスピン分布の周り方のカイラリティにより分類される。磁気間力顕微鏡は吹き出し磁化などを比較的簡便に測定することができるため、良く知られた磁化解析手段であるが、ローレンツ顕微鏡も、カイラリティを明瞭に判別できるなど、有効な磁化解析手段である。また、ローレンツ顕微鏡では、外部磁場を加えることも容易であり、比較的高速に現象を観察ができることから、動的磁化過程の観測が期待される。Fig.2 に、実際にローレンツ顕微鏡を用いて観察した時計回り(CW)と反時計周りの(CCW)に対応した電子像を示す。講演では、これらの外部磁場下での観測結果についても紹介する。また、最近、我々は、スピン注入を用いた磁気カイラリティの決定法についても提案、実証したので、それについても紹介する。

次に、電流による磁気渦構造の制御について紹介する。通常、磁区構造は、外部磁場を用いて制御されるが、近年、スピントランスファー効果に起因した電流による磁区構造制御が注目されている。我々は、スピントランスファー効果が磁気渦にどのように影響するかを、電流磁気効果を用いて詳細に調べた。その結果、磁気渦は、電流に比例して変位し、電流により磁気渦を消滅させることが可能であることが分かった。現時点では、磁区構造は、磁気抵抗効果からの推測であるため、直接観察による磁化構造の解析が期待される。

最後に、磁気円盤の動的磁化特性について述べる。磁気渦は磁気ソリトンの一種であり、エネルギー損失が非常に少ない情報伝達が期待される。熱励起に起因した無磁場中でのスピン波の発生、変調磁場による磁気渦の回転運動が理論的に予言されている。講演では、これらに関する実験の現状について述べるとともに、前述の磁気渦におけるスピントランスファー効果の実験で観測される新しいスピン波についても紹介する。

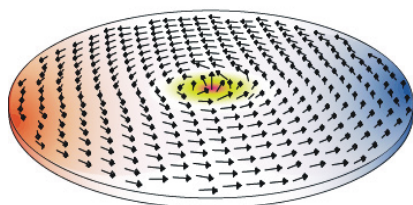


Fig.1 磁気渦構造の模式図

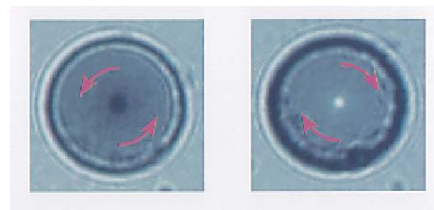


Fig.2 ローレンツ顕微鏡によるカイラリティの観測

## 試料電界強度を制御した PEEM による絶縁物観察への展開

\*吉川英樹<sup>1)</sup>、安福秀幸<sup>1)</sup>、木村昌弘<sup>1)</sup>、田村圭司<sup>2)</sup>、志水隆一<sup>2)</sup>

物質・材料研究機構<sup>1)</sup>、大阪工業大学<sup>2)</sup>

光電子顕微鏡 (PhotoEmission Electron Microscopy: PEEM) は、高い空間分解能で試料表面のイメージングが行える優れた手法である。特に結像型の PEEM は、走査型の PEEM に比べて動的なイメージングに適しており、加えて対物レンズにカソードレンズを搭載することにより、数 eV ~ 100eV の低速光電子に対する良好な収差係数の故に高い空間分解能を実現することが出来る。しかしながら、カソードレンズを搭載した通常の結像型 PEEM では、試料に強電界( 10 kV/mm オーダー )が印加されているため、次のような理由で絶縁物観察が困難という問題を生じている。試料に強電界が存在する場合、試料表面が等電位面にならず、電位の面内のムラが PEEM 像に影響してしまう。また試料電位を対物レンズに対して負の高電圧にすることは、光電子放出に伴う試料表面の正電荷のチャージアップの程度を促進してしまう。

上述した絶縁物の観察が困難な結像型 PEEM において、その困難さを解決するために、我々は試料表面の電界強度を制御できる機能を持つ PEEM を開発し、それを絶縁物観察に応用した。ここで言う電界強度の制御とは、「電導性の試料については高空間分解能を期待して試料に強電界を印加し、絶縁性の試料については試料の電界強度を大きく低減する」という使い分けをすることを意味している。これを実現するために、電場磁場重畳型の対物レンズとし、しかも磁界レンズの外側ヨークと内側ヨークを分離し、試料に対面している外側ヨークのみの電位を自由に換えられる構造としている。なお、外側ヨークと内側ヨークの間は、電気的には絶縁されているものの、磁界レンズの磁気回路としては繋がっている。

試料の電界強度を低減させ対物レンズ近傍で光電子を後段加速する電子光学系での結像特性は、Rose らによって理論計算から予測されていたが、今回初めて実験的に結像特性を明らかにした。その結果を図 1 に示す。図中、丸印は実験データ、3本の線は異なる working distance における理論計算結果を示している。試料と対物レンズ間の電位差を低減するに伴い対物レンズの励磁電流を低減する様子が明らかとなり、2次電子領域の低速電子に対して1桁を越える電界強度低減を実現できることが実験的に明らかとなった。なお、電位差の低減に伴って対物レンズの励磁電流値が下がるのは、外側ヨークの開口部から試料側に浸み出している静電場によるレンズ効果が原因で、この円孔レンズとバランスさせるように磁界レンズの励磁電流を制御することになる。

試料上の電界強度を制御できる対物レンズの完成を見ることが出来、これを用いた実際の絶縁性試料である積層PZTの観察例を紹介する。

謝辞：装置上の開発にあたってご尽力頂きました日本電子(株)工藤政都博士、境悠治博士、嘉藤誠博士、小川武人氏、ならびにPZT試料についての多大なご協力を頂きました太平洋セメント(株)福永了一博士、(株)ヨコオ 山川孝宏博士、東京工業大学 篠崎和夫先生には厚くお礼申し上げます。

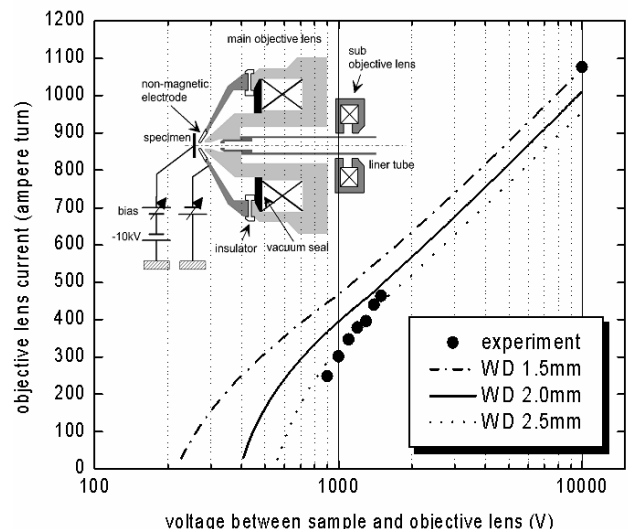


図 1 試料と対物レンズの間の電位差を制御した際の低速光電子を結像する電子光学条件。WD は working distance を意味している。実線、破線、一点鎖線は、各 WD 値での特性の計算値である。



## 多極子 Wien filter EXPEEM の開発と表面触媒反応

朝倉清高、新美大伸、宮本剛志  
北海道大学触媒化学研究センター

触媒表面では、反応中各活性サイトがダイナミックに相互作用して、反応を進行させており、その反応メカニズムは複雑である。こうした反応メカニズムを規定するためには、活性サイトごとの化学状態の変化を追跡するとともに、そのサイト間の物質移動を通じた相互作用を反応条件下で追跡することが必要である。われわれは、X線により励起された光電子のエネルギーを分析して結像する EXPEEM(Energy filtered photoemission electron microscopy)法による触媒表面化学マッピングの可能性について検討してきた。一般に用いられる半球型の電子エネルギー分析器では、光軸が折れ曲がるため、光軸調整が難しい。一方電場と磁場を直交させてかける Wien filter 型エネルギー分析器では、光学系を直線に配置できるという特徴を持つ。これまでに、Au および Ta の X 線光電子による表面マッピング像を得ることができたが、測定するのに多くの時間を必要とした。そこで、図 1 に示すように、口径を広げ、これに伴って増大する Wien filter 内の収差を低減するため多極子型 Wien filter を開発した。多極子化することで、高次の収差補正を行うことができ、計算上 20 倍の感度増加になると期待される。実際には、Wien filter の調整パラメータが増えるので、その最適化は困難が予想されたが、この新しい多極子 Wien filter を用いて、エネルギー X 線光電子によるエネルギー選別像を得ることができた。

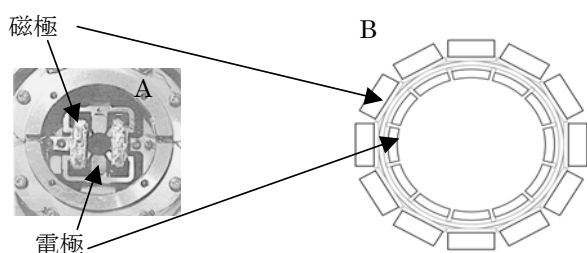


図 1 従来型の Wien Filter(A)と多極子 Wien filter (B)。(A)では、磁極として鉄心入りヨークを使っているので、電子の通る口径が小さくなる。(B)はヨークをのぞき、口径を大きくして感度を上げる。この時に、収差が大きくなるが、収差のフーリエ成分を 0 にするように多極子の電磁極を調整する。

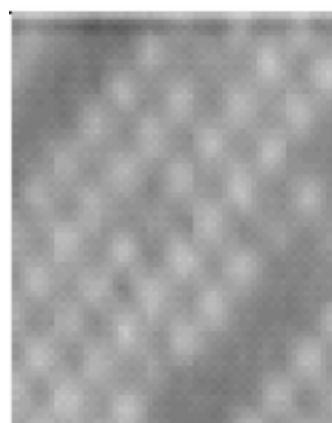


図 2 エネルギー選別 X 線光電子分光像 EXPEEM サンプルは Ta 上の金である。

# LEEM/PEEM における検出器による分解能劣化

大阪電気通信大学 清水宏\*、安江常夫、越川孝範

## 概要

LEEM、PEEM の空間分解能は一般的に対物レンズの球面収差、色収差に依存するといわれている。しかし空間分解能を極限まで高めるには、上記電子光学系の本質的な収差のみならず、電氣的、機械的ノイズによる擾乱や検出器等の諸特性を考慮しなければならない。我々は電子光学系以外の、検出器と CCD カメラが分解能を制限している結果を得たので報告する。

## 実験と結果

適切な分解能評価を行うためには、可能な限り平坦な観察試料が望まれる。そこで我々は Si(111)(7x7)構造上に(5x5)構造をもつ Cu 二次元島が成長することに着目し、これを 250°C 付近で作製し、室温下で LEEM 観察を行った。また鏡筒内での変動磁場が分解能に影響を与えていたため磁場発生源である CCD カメラ、及び、電源トランスの磁気遮蔽を施した。LEEM は除震台の上設置し、機械的振動を除去した。

観察した LEEM 像(像の画素数 : 1024 x 1024)において空間分解能を算出するため、Cu 二次元島の境界付近のラインプロファイルを測定し、強度の高低差の 14%から 86%までの画素数を算出した。図 1 に測定の一例として視野径 2 $\mu\text{m}$   $\phi$  における観察像とそのラインプロファイルを示す。この場合、8 画素分が空間分解能となり、約 16nm に相当する。この方法に従って、各視野径での画素数を算出した結果を図 2 に示す。この測定結果では視野径が 10~20 $\mu\text{m}$   $\phi$  の間で画素数がほぼ一定の 3.8 となった。これは検出器や CCD カメラに起因するもので、それぞれ、画素数にして 3.4 画素、1.7 画素分に相当するボケの広がりをもっていることが、別の測定結果から判明した。本講演ではこれらの詳細について述べる。

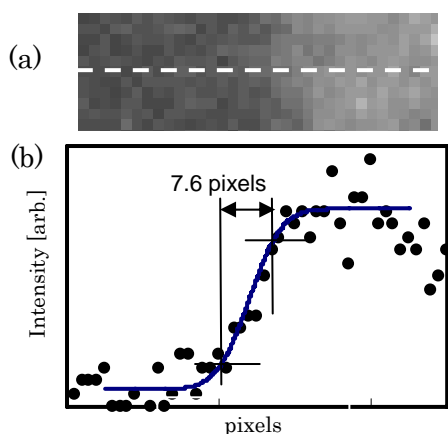


図 1(a) 視野径 2 $\mu\text{m}$   $\phi$  の LEEM 像(一部を拡大)、(b) (a) の点線上のラインプロファイル

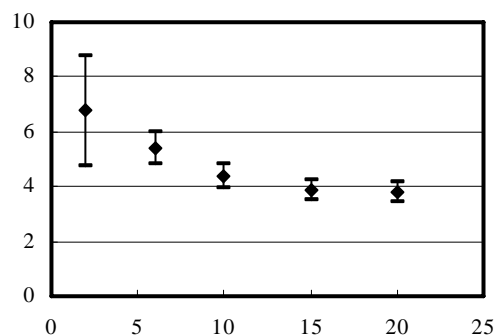


図 2 各視野径での観察像から算出した二次元 Cu 島境界の広がり。縦軸は画素数。

(\*現 アルバック・ファイ株式会社)

# Au-Si合金島の原子ステップへの配列

## Arrangement of Au-Si alloy islands at atomic steps on Si(111)

NTT物性科学基礎研究所 日比野浩樹、渡辺義夫\*

NTT Basic Research Laboratories, Hiroki Hibino and Yoshio Watanabe\*

半導体ナノ構造の作製手法を大別すると、トップダウン的な微細加工法とボトムアップ的な自己形成法がある。自己形成法は、低コスト・大規模・高品質等の潜在的な利点を有するが、サイズや位置等の制御性には課題が多い。我々は、これまで、半導体表面構造の原子スケール制御に基づき、ナノ構造をウェハースケールで自己組織的に形成する手法を開拓してきた[1]。本報告では、シリコン表面の原子ステップ配列をテンプレートとして用いることにより、金-シリコン合金島を位置やサイズを制御して自己形成できることを示す。

図1は、Si(111)表面に約 1.05 原子層の Au を蒸着後の低速電子顕微鏡(LEEM)像である。蒸着は二段階で行い、基板温度約 710°Cで、1原子層未満の Au を蒸着し、 $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$  構造を形成した後、基板温度を 400°C付近まで下げ、さらに Au を蒸着した。第二段階の蒸着中、表面が $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$  構造から  $6\times 6$  構造に変化してから短時間の後、三次元島がステップ端にほぼ同時刻に出現した。このため、どの島についても成長時間が等しくなり、サイズの均一な島が形成される。実際、原子間力顕微鏡を用い測定した三次元島の高さ分布は、10%程度のサイズばらつきを示した。また、同じ温度で基板を保持し、三次元島の数を減少させたのち、さらに Au を蒸着すると、三次元島は、単層深さの溝を後方に残しつつ上段テラスへと侵入した。このことから、三次元島が Au と Si の合金からなる液滴であることがわかる。また、図 2 に示されるように、三次元島は、テラス上ではほぼ一定の速度で移動するのに対し、テラスを渡りきり、上段側のステップに近づくと、ステップ端へとジャンプする。このことは、三次元島がステップ近傍に安定に存在することを意味し、Au-Si 合金島がステップを用いた配列制御に適していることがわかる。

\*現所属 NTTアドバンステクノロジー株式会社

[1] 例えば、T. Ogino, H. Hibino, Y. Homma, Y. Kobayashi, K. Prabhakaran, K. Sumitomo, and H. Omi, *Acc. Chem. Res.* 32, 447 (1999).

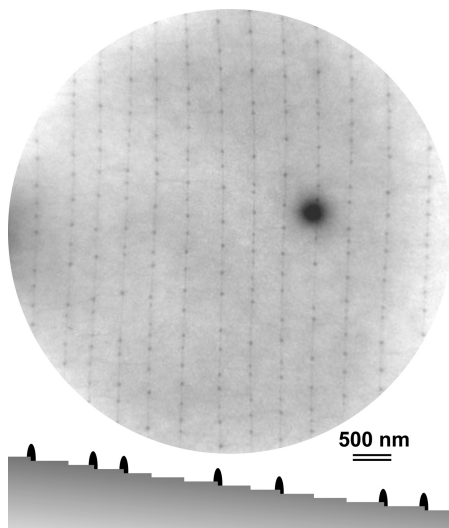


図 1: 基板温度約 400°C で Au を蒸着後の Si(111)表面の LEEM 像と断面の模式図。

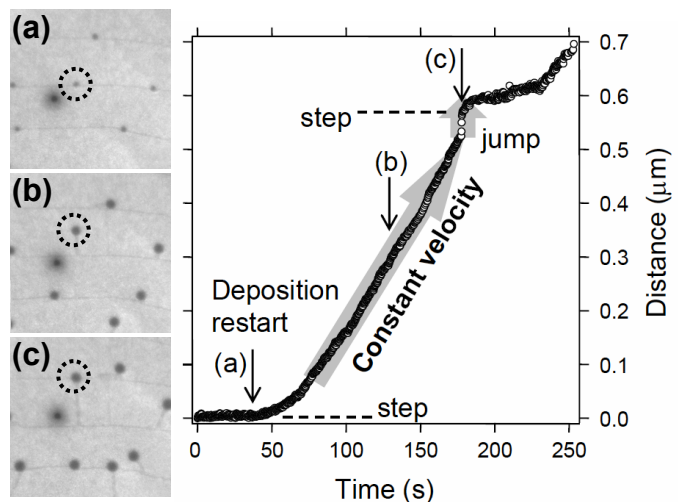


図 2: (a)から(c)の LEEM 像中の円で囲まれた島の移動距離を時間の関数としてプロットした。

## LEEM In-situ observation of the growth of implant source grown Ga nanodots on SiO<sub>2</sub>

Ryan Buckmaster<sup>1</sup>, Fangzhun Guo<sup>2</sup>, Keisuke Kobayashi<sup>2</sup>, and Takafumi Yao<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Materials Research, Tohoku University, Katahira 2-1-1, Aoba-ku, Sendai 980-8577, Japan*

<sup>2</sup>*SPring-8/JASRI, Kouto 1-1-1, Mikazuki, Sayo-gun, Hyogo 679-5198, Japan*

<sup>3</sup>*Center for Interdisciplinary Studies, Tohoku University, Aramaki, Aoba-ku, Sendai 980-857, Japan*

To be successful beyond the laboratory, future nanotechnologies for electronic applications must be able to control self-assembly as well as be compatible with existing fabrication technologies. Recently the growth of controlled Ga-based nanostructures by locally implanting Ga in SiO<sub>2</sub> followed by annealing has been reported which may satisfy these criteria [1,2]. The Ga nanodots also shows a number of interesting phenomenon, in particular a transition from SiO<sub>2</sub> capped nanodots to surface Ga nanodots as the implanted Ga ion dose increases. To better understand the Ga nanodot formation and phase transitions, Ga implanted 60nm SiO<sub>2</sub> thermal oxide films on Si were observed in-situ by LEEM while being annealed.

Despite the fact that the SiO<sub>2</sub> films presented no charge-up problems during implantation by a Ga focused ion beam or SEM observation, significant charge-up was observed by LEEM, although samples could still be observed by mirror mode and the nanodots were observable, especially in large implanted areas. Also capped nanodots demonstrated a leaky capacitor-like effect when the start voltage was increased.

Additionally the LEEM electron beam had other significant effects on the samples. When the LEEM field of view was moved to a new area an “etching” effect was observed as a new area of the sample was charged-up and came into equilibrium. Subsequent observation by high resolution SEM showed that the edge of the LEEM electron beam resulted in nucleation of a high density of small surface nanodots even at low temperatures. Also during in-situ annealing small capped nanodots were observed ripening into surface nanodots, but at far lower temperatures than expected. Thus we conclude that the LEEM electron beam resulted in significant enhancement of Ga diffusion in SiO<sub>2</sub> and nucleation on the SiO<sub>2</sub> surface.

[1] R. Buckmaster, T. Hanada, Y. Kawazoe, M-W. Cho, T. Yao, N. Urushihara, and A. Yamamoto. *Nano Lett.* **5** (2005) 771-776.

[2] R. Buckmaster, J.H. Yoo, K. Shin, Y. Yao, T. Sekiguchi, M. Yokoyama, T. Hanada, T. Goto, M. Cho, Y. Kawazoe, and T. Yao. *Microelectronics J.* **36** (2005) 456-459.

## ペンタセン薄膜成長過程の LEEM および STM による微視的解析

藤川安仁, Jerzy T. Sadowski, 櫻井利夫

東北大学金属材料研究所

近年注目を集め始めている有機半導体の中でも、ペンタセン( $C_{22}H_{14}$ )はアモルファスシリコンを越えるキャリア移動度を持つことから特に多くの研究が行われており、酸化物から金属に至るまで幅広い基板上に対して容易に薄膜成長が可能である事が知られている。

本研究では、ペンタセン分子とこの様な様々な基板間との相互作用が、基板表面の電子状態に大きく依存する[1]事に着目した。ペンタセン薄膜の成長はペンタセン分子間およびペンタセン分子-基板表面間の2種類の相互作用の間の釣り合いによって決定されると考えられる。基板がシリコン酸化膜のような絶縁体の場合はペンタセン-基板間の相互作用は弱い Van der Waals タイプのものとなるため、ペンタセン薄膜は成長初期よりバルク構造に近い層状構造を取って成長することが可能であり、その層状構造の中でペンタセン分子は基板表面に対して立った形の配向をとる。しかし、この様な系では基板-表面間の相互作用が小さすぎるために島状成長を起し、薄膜の均一性を分子層レベルの厚みで保つのは困難である。これに対してフェルミ準位近くに高い順位密度を持つ金属表面上における成長では、ペンタセンの  $\pi$  軌道はこの金属的な準位と強く相互作用を起すため、分子は表面上に横になった形の配向をとる事が知られている。そのため界面に於いてペンタセン分子はバルクとは全く異なる配向をもつ結果となる。

上記の問題点を解決するため、本研究では半金属であるビスマス薄膜を Si(111)表面上に成長し[2]、その上にペンタセン薄膜成長を試みた。その結果、ビスマス薄膜の上ではペンタセン分子が第1層目から立った状態でバルクと同じ層状構造をとってエピタキシャル成長する事が判明した[3]。LEEM および STM による解析結果から、このエピタキシャル成長においては、殆どバルクと同じ格子定数をもつペンタセン薄膜の片方の結晶軸が基板であるビスマス薄膜の結晶軸に対して揃う形で非常に整合性の高い界面を形成する事が判明した。さらに、LEEM によるドメイン端形状の観察結果から、この単分子層ドメインの大きさは直径 0.2  $\mu\text{m}$  にも及ぶ事が判明し、ペンタセン単分子層の成長においてバルクの結晶構造と薄膜の連続性が両立していることが分かる。これらの結果から、ペンタセン薄膜の結晶成長制御において、基板表面の活性に直結する電子状態の制御が重要な役割を占めている事が示された。

[1] G. E. Thayer, J. T. Sadowski, F. Meyer zu Heringdorf, T. Sakurai, R. M. Tromp, Phys. Rev. Lett., pending

[2] T. Nagao, J. T. Sadowski, M. Saito, S. Yaginuma, Y. Fujikawa, T. Kogure, T. Ohno, Y. Hasegawa, S. Hasegawa and T. Sakurai, Phys. Rev. Lett. **93** (2004) 105501

[3] J. T. Sadowski, T. Nagao, S. Yaginuma, Y. Fujikawa, A. Al-Mahboob, K. Nakajima, G. E. Thayer, R. M. Tromp and T. Sakurai, Appl. Phys. Lett. **86** (2005) 073109

## In/Cu(001)および Sn/Cu(001)表面における相転移の LEEM 観察

京大院理、JASRI<sup>A</sup>

八田 振一郎、郭方准<sup>A</sup>、奥山 弘、有賀 哲也

In/Cu(001)およびSn/Cu(001)表面においてCDW転移が起こることが報告されている[1,2]。これらの表面では非常に類似した表面電子状態が観察されており、共通した相転移機構を持つのではないかと考えられる。今回LEEMの暗視野像の観察により、相転移におけるドメイン構造やコントラストの温度変化を追跡し、SPMでは測定困難な広範囲の実空間像から相転移のダイナミクスの解析を試みた。

実験は SPring-8 に導入された分光型光電子・低エネルギー電子顕微鏡(SPELEEM)を用いて行った。In/Cu(001)表面については、被覆率 0.5 ML で起こる $(9\sqrt{2}\times 2\sqrt{2})R45^\circ \leftrightarrow c(2\times 2)$ の相転移について LEEM 観察を行った。室温で蒸着を行いながら超構造スポットの強度をモニターし、最大となった表面を用いた。このようにして作成した $(9\sqrt{2}\times 2\sqrt{2})R45^\circ$  表面は、互いに  $90^\circ$  回転した関係にある 2 種類のドメインによって覆われている。これは異なるドメインから得られた暗視野像が反転したコントラストを示すことから確認できる。図 1 (a)では、 $0.3 \mu\text{m}$  程度のサイズを持ったドメイン構造が観察できる。この構造は昇温とともにコントラストを失い、約 350 K 以上において完全に均一な図 1 (b)の像となる。このような転移の振る舞いは LEED による報告とよく一致する。これを再び室温に戻すと、昇温前と比べて平均的なサイズはほぼ変わらないが、異なるパターンを持つ表面が観察された。これは観察されている構造がステップや欠陥などによって固定されたものでなく、ドメイン境界の揺らぎを反映したものであることを示している。また、暗視野像の強度の標準偏差を温度に対して並べると、指数  $1/4$  で減衰していることが分かった。現在相関長などについての解析も試みている。同様に、Sn/Cu(001)表面についても解析を試みる予定である。

[1] T. Nakagawa *et al.*, Phys. Rev. Lett. 86, 854 (2001).

[2] J. Martínez-Blanco *et al.*, Phys. Rev. B 72, 041401(R) (2005).

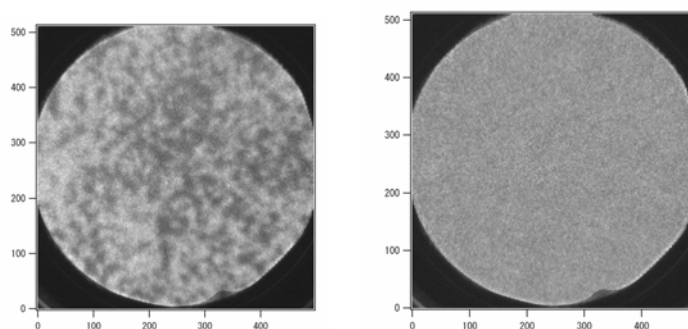


図 1 暗視野像( $\phi 5 \mu\text{m}$ ) (a) 300 K (b)  $\sim 355$  K

## Pb/W(110)成長過程における LEEM のステップコントラスト反転

<sup>1</sup>大阪電通大、<sup>2</sup>アリゾナ州立大

安江常夫<sup>1</sup>、天川良太<sup>1</sup>、清水宏<sup>1\*</sup>、中口明彦<sup>1</sup>、高橋宏彰<sup>1</sup>、E.Bauer<sup>2</sup>、越川孝範<sup>1</sup>  
email yasue@isc.osakac.ac.jp

W(110)上での Pb の成長過程を低エネルギー電子顕微鏡 (LEEM) で観察すると、1ML 以下の成長途中で単原子ステップのコントラストの反転が見られたので、その要因について検討を行った。図 1 に成長途中の LEEM 像を示す。(a)の清浄表面で暗いコントラストであったステップが、Pb の蒸着に伴い(b)に示すように明るいコントラストとなり、その後(c)に示すように再び暗いコントラストへと変化する。通常の干渉効果によるステップコントラスト形成メカニズム[1]ではこの反転を説明することができない。そこでステップとテラスの LEEM 強度が被覆率とともにどのように変化するかを測定した結果を図 2 に示す。図に見られるように、ステップコントラストの反転は、テラスの強度とステップ強度の大小が、Pb の蒸着により相対的に変化するためであると考えられる。吸着初期には 2 次元のガス状の Pb が存在するためテラス強度の急激な減少が起こるが、ステップ近傍では Pb 密度が低くなっており、ステップ強度の減少が小さいため強度の反転が起こることが考えられる。その後 2 次元ガスの凝集・結晶化が始まることで LEED パターンから確認された。凝集・結晶化が進むにつれテラス強度が回復し、再びステップ強度より大きくなると、コントラストの反転が起こり、清浄表面と同じく暗いステップコントラストが観察される。しかし、ステップコントラストのプロファイルを詳細に観察すると、上記のような単純なモデルだけでは説明できない現象も見出している。

講演では 2 次元ガス相からの凝集・結晶化における吸着構造の変化を LEED パターンから解析した結果についても報告する。

[1] W.F.Chung and M.S.Altman, Ultramicroscopy 74 (1998) 237.

\*現在：アルバック・ファイ (株)

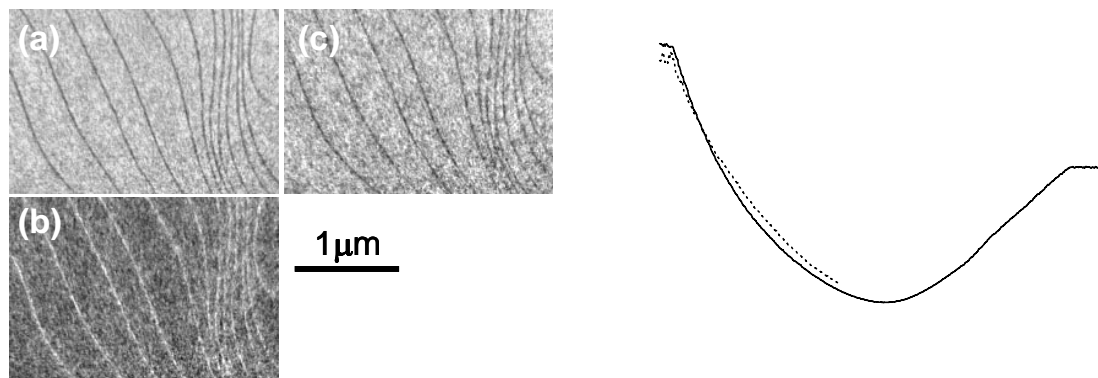


図 1 W(110)上への Pb 吸着によるステップコントラストの反転

# LEEM、制限視野 LEED および化学分析 SR-XPEEM を用いた

## In/Si(111)上の Sb の成長過程の動的観察

中口明彦、郭方准<sup>1</sup>、橋本道廣、上田将人、安江常夫、木下豊彦<sup>1</sup>、小林啓介<sup>1</sup>、越川孝範

(大阪電通大、<sup>1</sup>JASRI)

InSb は高い電子移動度や小さなバンドギャップのために、赤外線検出器、高速デバイス、磁気センサなどの役に立つ。今回は SPring-8 で行った LEEM、制限視野 LEED そしてシンクロトン放射光による化学分析 XPEEM(SR-XPEEM)を用いた In/Si(111)の $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ と $\sqrt{31}\times\sqrt{31}$ の二つの異なる構造上の Sb の成長過程について報告する。

図1(a)に In/Si(111)の $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ (暗領域)と $\sqrt{31}\times\sqrt{31}$ (明領域)の LEEM 像を示す。図1(b)は Sb を蒸着し、元 $\sqrt{31}\times\sqrt{31}$ 領域のコントラストが明から暗へ、そして暗から明へと変化した後の LEEM 像である。コントラストが変化した後、元 $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ の領域は $1\times 1$ 構造に、そして元 $\sqrt{31}\times\sqrt{31}$ の領域は $2\times 2$ 構造に変化した。ここで、二つの異なる領域間の In の拡散を調べるために、SR-XPEEM により In の 3d と Sb の 3d からの XPEEM 像の取得を試みた。図2(a)に In/Si(111)上に Sb を蒸着した場合の In(3d)の SR-XPEEM 像と各局所領域(白丸)からの In と Sb の XPS スペクトル{(b)と(c)}を示す。XPS スペクトルから(1)より(2)の領域の方が In の強度が高いと考えられる。しかし、(2)の領域における Sb 蒸着前の In/Si(111)上の In の強度は低かった。このことは元 $\sqrt{31}\times\sqrt{31}$ から $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ 領域への In 原子の非常に大きな拡散を示すと考えられる。最終的に、蒸着を続けていくと In の三次元島が形成された。

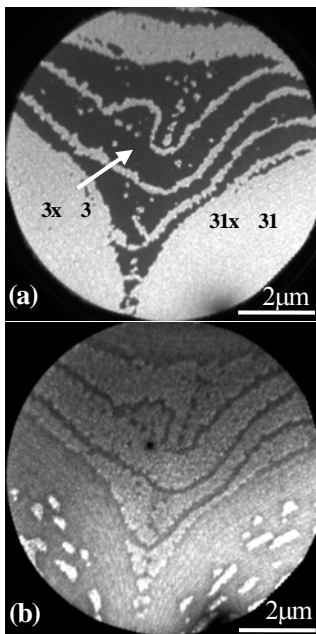


図1 Sb/In/Si(111)の LEEM 像。  
(a)Sb 蒸着前、(b)Sb 蒸着後。  
 $E_p=10.4$  eV, FOV: $10\mu\text{m}$ 。

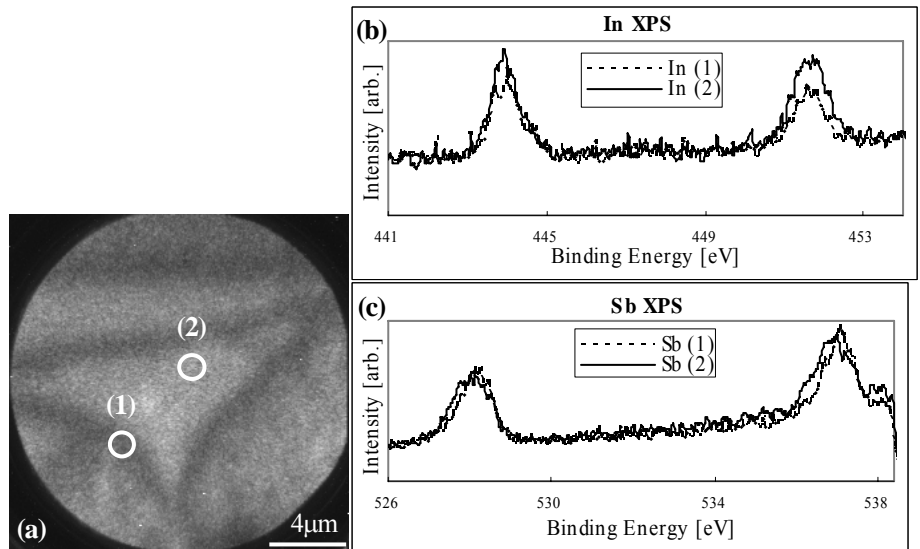


図2 XPEEM 像  
(a)In/Si(111)上の Sb の In(3d)、  
そして(1)と(2)の局所領域からの XPS スペクトル(b)In(3d)と(c)Sb(3d)。



# LEEM および制限視野 LEED による W(110)上の Cu 二重層構造変化

中口明彦、清水宏\*、高橋宏彰、<sup>1</sup>Ernst Bauer、安江常夫、越川孝範

(阪電通大エレ研、<sup>1</sup>アリゾナ州立大、\*現アルバック・ファイ)

本研究では、Layer-by-layer 成長する基板温度 100°Cでの Cu/W(110)薄膜成長を LEEM と LEED により詳細に観察を行った。オージェ強度は 1ML、2.13ML でクニックをもつことから層状成長をしているという報告がある[1]。しかし、表面から垂直方向に放出されるオージェ信号強度は 2.13~2.47ML 間で被覆率に対してほとんど増加しないという結果が報告されている[2]。LEEM により直接・動的観察した結果、2.13ML 付近で二層目(15 x 1)が完成後、すぐに三層目が成長するのではなく、15x1 から bilayer Cu(111)への構造変化が生じ、その後 2.47ML 付近から 3rd layer Cu(111)が成長することが確認された。図 1 は  $\theta=2.30\text{ML}$  の成長過程の像であり、明と暗の二種類の領域が観察されている。2.13~2.47ML 間で被覆率の増加と共に明領域が次第に広がっていく様子が観察された。また、LEED スポットの強度から図 1 の暗領域では 15x1、明領域では Cu(111)の成分が大きいことが確認された。このことは第三層の形成前に Cu 二重層が 15x1 から Cu(111)へと構造変化する様子を示しており、LEEM により初めて bilayer の構造変化が直接観察された。

[1]E. Bauer, H. Poppa, G. Todd, and F. Bonczek, J. Appl. Phys. **45**(1974)5164.

[2] G. Lilienkamp, C. Koziol and E. Bauer, Surf. Sci. **226**(1990)358.

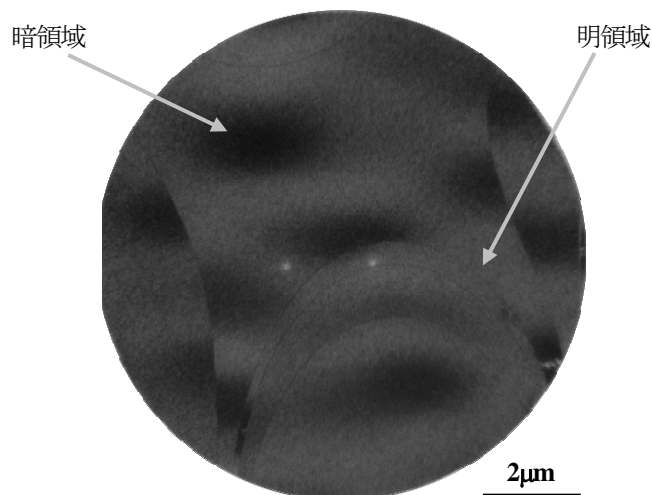


図 1. LEEM 像

FOV=10μm,  $E_p=7.5\text{eV}$ ,  $\theta=2.30\text{ML}$   
暗領域: 15 x 1、明領域: bilayer Cu(111)

## PEEM・LEEM によるグラファイト基板上的ペンタセン薄膜成長

塩野入正和、小笹桃子、富山直之、解良聡、奥平幸司、上野信雄

千葉大学工学部電子機械工学科 〒263-8522 千葉市稲毛区弥生町 1-33

E-mail: noiri.16@graduate.chiba-u.jp

【序】現在多くの注目を集める有機デバイスの性能は、キャリア移動度に大きく左右されるが、この制限要因として有機薄膜中の結晶粒界の存在が挙げられる。結晶粒界の密度は有機薄膜の成長初期段階でほぼ決定される。よって、キャリア移動度の向上には、膜成長初期段階での核生成と成長機構に関する知見を得ると同時に成長を制御する必要がある。

本研究では、高いキャリア移動度を示し有機デバイスへの応用が期待されるペンタセン( $C_{22}H_{14}$ )を、分子-基板間相互作用が小さい高配向性熱分解グラファイト(HOPG)基板上に段階的に真空蒸着し、薄膜の成長過程を PEEM・LEEM により観測した。

【実験】HOPG 基板は大気中で劈開後、超高真空中に導入し加熱清浄化(673K, ~60h.)した。基板の上にペンタセンを段階的に真空蒸着し(蒸着時圧力： $\sim 2.5 \times 10^{-7}$ Pa)、PEEM ( $D_2$  ランプ： $h\nu < 6.8$ eV)・LEEM ( $E_i = 5$ eV)により観測した。

【結果・考察】Fig.1 に HOPG 基板とペンタセンを 3 まで蒸着した PEEM 像(a-c)、LEEM 像(d-f)を示す。像の視野径は全て約  $67\mu\text{m}$  である。PEEM 像では、基板とペンタセン 2 蒸着後(a, b)までに顕著な変化は確認できない。これは、分子の吸着がない、または、吸着分子と基板とで光電子放出量に大きな差がないことを示している。3 蒸着後(c)には無数の輝点が出ており分子の吸着が確認できる。これらは PEEM 像で明るく観測されているので、ペンタセン島構造のイオン化エネルギーが基板また

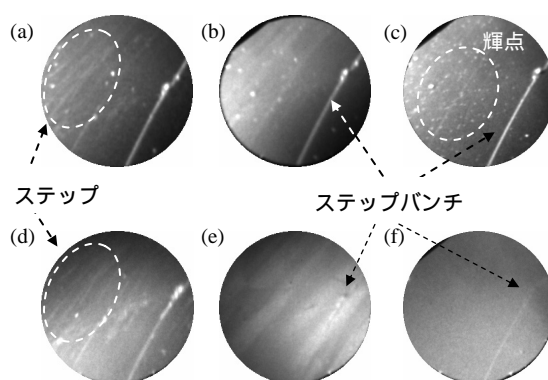


Fig.1 pentacene/HOPG の PEEM 像と LEEM 像 FOV= $67\mu\text{m}$   
(a)~(c): PEEM 像 (HOPG 基板、pentacene 1, 3 )  
(d)~(f): LEEM 像

は 1 分子層目に比べ小さいことがわかる。一方、LEEM 像では基板で確認されたステップバンチが 2 蒸着後見えなくなると同時に、新たなコントラストが出現している(e)。3 蒸着後には“新たな”コントラストは消失し、全体がほぼ均一になっている。よって、3 蒸着後には 1 分子層目の形成が終了している。ペンタセンは基板表面に対し分子の長軸を立てて配向する方が分子平面を平行に配向するよりもイオン化エネルギーが小さいことがわかっている[1]。したがって、ペンタセンは 1 分子層目で基板表面に対し分子平面を平行に配向し、2 層目では長軸を基板表面に対し立つように配向していると考えられ、また成長様式は Stranski-Krastanov 成長であることが確認された。さらに、同一基板表面上での場所によって異なるペンタセン島構造の成長様式の違いも確認された。これは、基板表面の欠陥に影響されたと考えられるが、詳細は当日発表する。

[1] H. Yamane et al., IPAP conference series 6, 19

# Availability of PEEM to Detect Electric Field of $p^+n$ -Si(100) substrates

Hirokazu Fukidome, Masamichi Yoshimura, and Kazuyuki Ueda

Nano High-Tech Research Center, Toyota Technological Institute, 2-12-1 Hisakata,  
Tempaku-ku, Nagoya 468-8511.

PEEM is a promising tool to microscopically detect physical properties of surface and interfaces. Physical properties of silicon of narrow bandgap can be varied in relatively narrow temperature range, so that the temperature-sensitivity is used to microscopically investigate the properties of surfaces and interfaces.

Fig. 1 shows a typical PEEM images taken at 173 K. Intensity ratio ( $I(n)/I(p^+)$ ) at various temperature is plotted in the lower diagram, and it is found that the ratio increases with temperature. The intensity is determined by band bending that varies probably due to the temperature-sensitive surface photovoltage effect (SPV) at a lower temperature region, and a shift of bulk Fermi level position by thermally excited carriers at a higher temperature region.

Fig. 2 shows the PEEM images of the substrates covered with ultrathin Al film ( $5\text{\AA}$ ). Deposition of Al reduces the intensity ratio of  $n/p^+$  regions. On the other hand, a characteristic bump appears at the boundary of the  $n/p^+$  regions, especially at a low temperature. The appearance of the bump can be related to a redistribution of emitted electrons owing to the deflection of trajectories of the electrons by lateral electric fields at the surface, and the analysis of the bump makes it possible to quantify the lateral distribution of electric field [1]. This result indicates that PEEM can observe stray electric field of buried interfaces. X-PEEM observation for the quantitative crosscheck for the above results may be presented.

Reference: [1] S.A. Nepjiko et al., *Adv. Imaging Electron. Phys.* **136** (2005) 227.

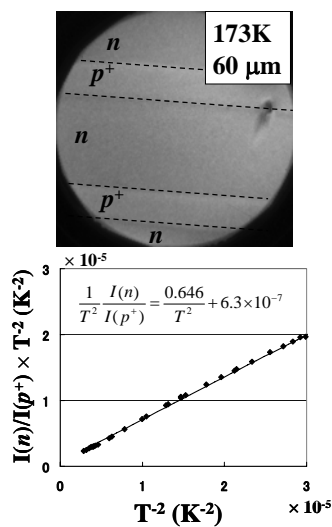


Fig.1 A PEEM image of  $p^+n$ -Si(100) and temperature dependence of the intensity ratio.

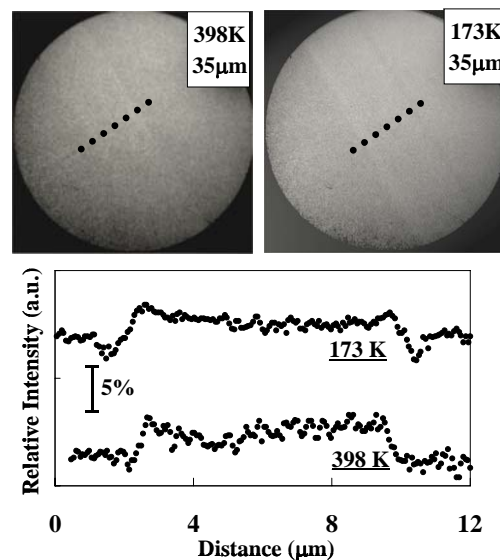


Fig. 2 PEEM images of  $5\text{\AA}$  Al/H/ $p^+n$ -Si(100) and their cross sections.

## Cu/W(110)における UV-PEEM コントラストメカニズム

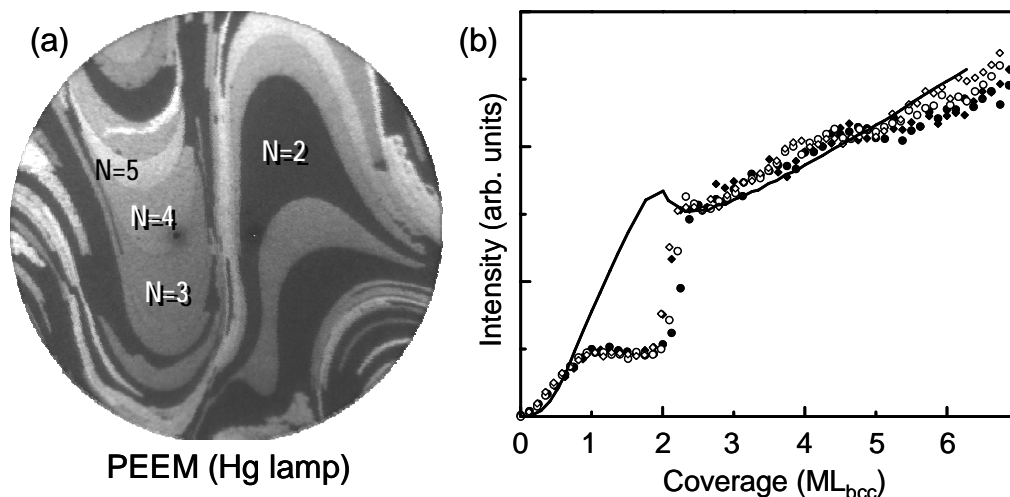
越川孝範<sup>1</sup>、清水宏<sup>1</sup>、中口明彦<sup>1</sup>、高橋宏彰<sup>1</sup>、安江常夫<sup>1</sup>、E.Bauer<sup>2</sup>

<sup>1</sup>大阪電通大、<sup>2</sup>アリゾナ州立大

昨年の研究会で、Cu/W(110)の水銀ランプ励起による PEEM において、Cu 層の膜厚により光電子強度が増大し、これまで言われてきた仕事関数による PEEM 像の解釈が困難であることを指摘した。今回はさらに解析を進めたので、その結果について報告する。

図(a)は W(110)上に成長した Cu 多層構造の UV-PEEM 像である (視野径は 10 $\mu$ m)。図中に示した N は Cu の層数であり、膜厚が厚くなるにつれ光電子強度が上昇していることがわかる。仕事関数については、被覆率が 2ML 付近で極小値を取り、その後仕事関数が大きくなることが報告されている。仕事関数だけを考慮すると、膜厚の上昇により光電子強度が小さくなることが予想され、実験事実が説明できない。ここでは、Cu 層からの光電子放出が支配的であると考え、Cu の被覆率に応じて光電子収量が増大すること、および仕事関数の変化により脱出確率が変化することを考慮して解析を行った。その結果を図(b)に示す。ここでは Cu を蒸着しながら PEEM 像を連続的に取得して、光電子強度を測定した。いくつかのシンボルは実験結果であり、何回かの測定結果を示している。実線は上述の過程により計算した光電子強度である。仕事関数変化による脱出確率の変化については、ポテンシャルの高さが変化することによる屈折効果を考慮した。図から明らかのように、実験結果では被覆率が 1ML から 2ML の間で、光電子強度の上昇が抑制されており、2ML 以降で急激な強度の上昇が見られる。以前に報告したように 1ML から 2.13ML では Cu 第 2 層が 15 $\times$ 1 構造を示しており、2.13ML から 2.47ML の間で fcc 構造へと構造変化を起こすことがわかっている。したがって、15 $\times$ 1 構造が形成されている間は、光電子強度が低いことがわかる。

現在この理由について表面準位の影響なども含めて考察を進めており、その詳細については当日報告する。

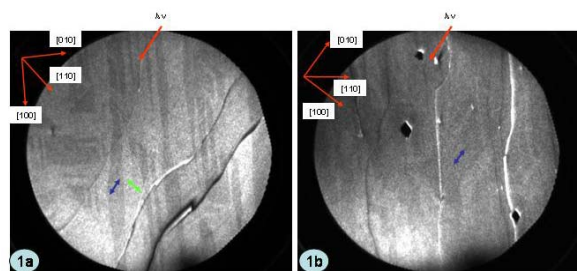


## UV-PEEMによる反強磁性ドメインの直接観察

JASRI、東大物性研<sup>A</sup>、 郭方准、孫海林<sup>A</sup>、奥田太一<sup>A</sup>、小林啓介、木下豊彦

磁化方向と偏光の相対関係による吸収スペクトルには差が発生し、これによる磁気円二色性(XMCD)と磁気線二色性(XMLD)が知られている。放射光と光電子顕微鏡の組み合わせは、これらの特性を活かして強磁性または反強磁性のドメイン構造研究に用いられている。最近、我々は偏光子なしでも類似の現象が起こることを見出し、水銀ランプ照射だけで PEEM による反強磁性ドメイン観察に成功した。

実験試料は NiO(001)単結晶で、装置は ELMITEC 社製の分光型光電子・低エネルギー電子顕微鏡(SPELEEM)と ORIEL 社の水銀ランプ (200W) を使った。試料を大気中でへき開して真空チャンバーに導入し、308K の温度下で数時間脱ガスした。得られた PEEM 生画像の一例を図 1a に示す。この像の視野は  $75\mu\text{m}$  であり、像の取得時間は 12 秒である。表面にはステップが見えるが、結晶の[100]、[110]、[010]方位に沿ったコントラストが明らかに見える。これらのコントラストは確かに反強磁性ドメインであることを確認する為に、試料方位と入射光の相対角度変化及び温度依存性を実験してみた。試料を面内  $45^\circ$  回転した PEEM 像を図 1b に示す。コントラストは殆ど消えたことが分かる。入射光は直線偏光子を使っていないが、*s*-と *p*-偏光成分が位相関係なしに混ざっていると考えられる。今回の実験結果はそのうちの *s*-成分が磁気光学効果を起こした結果現れたものと考えられる。SPELEEM は感度が高く、僅かな *s*-偏光成分による光電子励起の差も捕らえていると考えられる。*s*-偏光の場合、試料方位変化の結果は今まで報告された XMLD[1]の実験と一致する。図 1a から、反強磁性ドメインは表面のステップを貫通し、表面ステップ及び欠陥に影響されず、バルクのドメイン構造に強く影響されることが分かる。実験では、ネール温度以上でコントラストが消え、再び温度を下げるとコントラストが出現することも確認できた。また、再び室温で観測した反強磁性ドメインは、サイズが大きくなり、一部のドメインは表面ステップの影響を受けることが分かった。これはへき開の段階で表面にできた応力が加熱によって開放されたためであると解釈している[2]。



図(1a)、水銀ランプと SPELEEM によって得た PEEM 画像 (視野  $75\mu\text{m}$ )。 (1b)  $45^\circ$  面内回転した後の同視野 PEEM 像。

[1] Stöhr *et al.*, Phys. Rev. Lett. **83** (1999) 1862.

[2] F.Z. Guo *et al.*, to be submitted.

# HiSOR

# (LT-PEEM)

B B B  
 (PEEM)  
 PEEM  
 PEEM  
 LT-PEEM  
 Research System Heli-tran LT-3B

B  
 B  
 PEEM  
 PEEM  
 HiSOR

XYZ  
XY

Advanced  
He

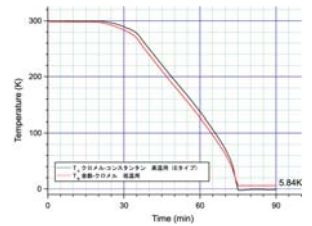


図1：冷却温度の時間経過

HiSOR-BL14  
HiSOR-BL14

100~1200eV X  
SiO<sub>2</sub>  
( )  
2a  
L<sub>2</sub>

Co L<sub>3</sub>

15nm  
6K  
( )  
Co  
2b  
L<sub>3</sub> L<sub>2</sub>  
MCD

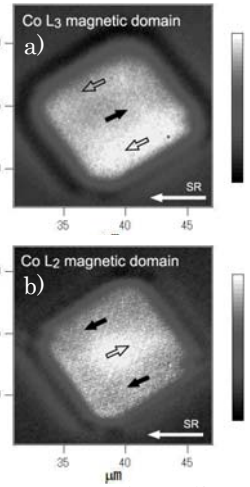


図2：Co L<sub>2,3</sub>端での磁区構造

Metastable domain

GeMnTe<sup>[ref.2]</sup> (6K)

GeMnTe T<sub>c</sub>=110K

3 Mn L<sub>3</sub>  
(b) Mn

Mn (a)

Ref.

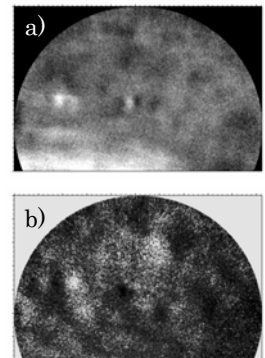


図3：GeMnTeの低温でのMnの空間分布と磁区構造

HiSOR LT-PEEM

- [1] S. Imada et al., Jpn. J. Appl. Phys. Vol.39 (2000) pp. L585
- [2] Fukuma et al. Physica E10 273 (2001)

# 放射光 SPELEEM を用いた In/Si(111) の高分解能化学効果の観察

<sup>1</sup>大阪電通大、<sup>2</sup>JASRI、<sup>3</sup>アリゾナ州立大

清水 宏<sup>1\*</sup>、中口明彦<sup>1</sup>、郭方准<sup>2</sup>、脇田高德<sup>2</sup>、安江常夫<sup>1</sup>、小林啓介<sup>2</sup>、E.Bauer<sup>3</sup>、越川孝範<sup>1</sup>

## 概要

Si(111)表面上の In 薄膜は基板温度、蒸着量に応じて様々な構造をもつ事が知られている。そこで、放射光を光源とした SPELEEM (Spectroscopic Photoemission Electron microscope and Low Energy Electron Microscopy)を用いて局所領域 XPS 観測、及び LEED 観察を行い、化学結合状態とその結晶構造依存性を調べた。

## 実験と結果

実験はSPring-8、軟X線ビームライン(BL27SU)で行った。約 500°Cの基板温度において、Si(111) 清浄表面上に(1x1)構造のIn二重層を作製後、室温下でIn<sub>3</sub>次元島を作製した。図1に観測結果であるIn-3d<sub>5/2</sub>、3d<sub>3/2</sub>のXPSスペクトルを示す。放射光のエネルギーは530eVである。スペクトル

左上に二重層と3次元島の

LEEM像(視野径 20μmφ)を示し、XPS観測を行った領域(1.3μmφ)を丸印で示した。3次元島から得たピークはIn-In結合に起因すると考えられるが、二重層の場合はピークが同位置であるもの高エネルギー側にショルダーが見られた。また

同様に、約 500°Cの基板温度において(√3x√3)、(√31x√31)、(4x1)構造のIn薄膜をそれぞれ作製し、室温下でXPS観測を行ったところ、高エネルギー側にピークが現れた。蒸着量が比較的少ない(√3x√3)、(√31x√31)構造(それぞれ、0.3、0.8ML)では、3次元島の観察結果に比べ、ピークが0.5eV高エネルギー側にシフトし、Si-Inの結合状態を反映していると推測された。また(√3x√3)構造に比べて、(√31x√31)構造は0.1eV程度エネルギー幅が広がっていることもわかった。(4x1)構造(約1.8ML)では2つのピークが現れ、それぞれの位置は前述のIn-In、Si-In結合に起因するピークと同じ位置に現れている。これらの詳細について本講演で述べる。

(\*現アルバック・ファイ株式会社)

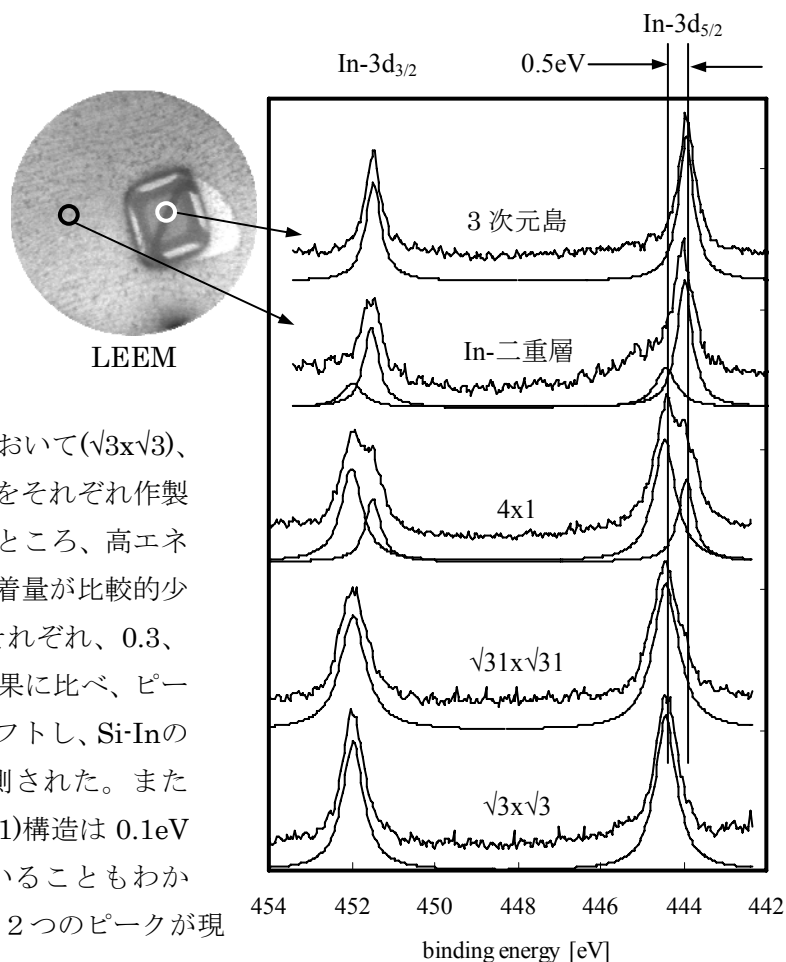


図1 LEEM像と、異なる結晶構造に対するInのXPSスペクトル。入射エネルギーは530eV。左上はIn二重層、3次元島のLEEM像(視野径20μm、61.2eV)

## PF 研究会・ナノテクノロジー総合支援プロジェクトワークショップ 「LEEM/PEEM を用いた表面研究の新しい展開」報告

大阪電通大 越川孝範

平成 17 年 10 月 12, 13 日, KEK 3 号館セミナーホールにおいて標記研究会が開催された。この研究会は一昨年に SPring-8 で、また昨年は東大物性研で開催されたシンポジウムに引き続き開催されたものである。我が国ではかなりの数の LEEM/PEEM が開発または導入されており、設置台数では世界的に見ても随分多い。しかしこの分野への進出が遅かったこともあり、基礎的な結果は出ているものの、ヨーロッパやアメリカに比べ成果が出遅れているというのが現状であり、今後更に研究成果の充実を図るためには、実験上ならびに得られた結果に対して議論を深める必要がある。そこで、本研究会は国内の LEEM/PEEM の研究者が参加し、ノウハウを含めて意見を交換する機会を持つこと、また 2006 年 10 月に姫路で開催される「第 5 回 LEEM/PEEM 国際会議」に向けて切磋琢磨することを目的として開かれた。現在国内で進行中の LEEM/PEEM を用いた表面研究に関する発表とそれらに基づく議論が行なわれた。参加者は異なる分野からの参加者もあり 62 人であった。また 18 件の口頭発表と 8 件のポスター発表がなされ、盛況な PF 研究会となった。

北大の小池教授による「スピン SEM」に関する装置の開発の状況とそれを用いて得られた成果に関する特別講演、名大の中西教授による「スピン偏極電子源」の開発とその LEEM への応用に関する講演、東大の尾嶋教授による「放射光光電子顕微鏡によるナノイメージング・ナノ分光」に関する講演での将来の装置開発に対する問題提起、東大の木村講師による「ナノスケール磁性体」に関する依頼講演、NTT の日比野氏による LEEM を用いた Au シリサイドナノ構造の生成過程、さらに KEK の小野助教授のよる「放射光光電子顕微鏡による超高速現象観察」に関する講義等があり、LEEM/PEEM に直接・間接に関連した内容であり、大いに議論が盛り上がった。一般の口頭発表やポスター発表でも新しい成果が発表され、分解能測定に関する問題提起等もあり我が国のこの分野の研究が着実に進展しているということが確信できた。ポスターセッションでは、学生を中心とした発表がなされ、活発な議論が行われている状況を見ると、若手研究者の育成も期待でき LEEM/PEEM を用いた表面研究の将来が明るいことが認識できた。12 日夕方の懇親会には若手研究者や大学院生も多く参加し、小間所長の本分野への期待を含めた挨拶にはじまり、歓談を交えた交流がなされた。さらに研究会・懇親会だけでは議論が足りないアクティブな研究者のために、国際交流センターの交流ラウンジで 2 次会を開催し、まさに夜を徹しての LEEM/PEEM に関する議論を行った。

今回は、SPring-8 での PEEM 実験が順調に軌道に乗り始めたために、そこで出始めた成果や今後の利用についての議論で特に活気が見られた。また、将来の LEEM/PEEM を利用した新しい実験に向けての具体的な検討の進展に対しても、ユーザーの期待が高まっていた。LEEM/PEEM 分野の特色のひとつとして若手研究者の活躍の目覚ましさが挙げられるが、今回も若い研究者が多く参加した研究会であった。この分野のさらなる発展を可能にする若手研究者が着々と育ってきていることが本研究会により示された。

最後に、本研究会の準備、進行を助けてくれた小野助教授を始め、PF の事務スタッフ、学生諸氏に感謝する。