

平成18年度 学術創成研究費 研究終了報告書（事後評価用）

平成18年3月31日

ふりがな	こしかわ たかのり							
①研究代表者氏名	越川 孝範		②所属研究機関・部局・職	大阪電気通信大学・エレクトロニクス基礎研究所・所長、教授				
③研究課題名（英訳名）	放射光一極微解析ナノスコープ (Development of Ultra High Resolution Nanoscope Using Synchrotron Radiation)							
④研究経費 (千円未満切捨)	年度	研究経費（千円）		使用内訳（千円）				
		交付額	支出額	設備備品費	消耗品費	旅費	謝金等	その他
	平成13年度	72,000	72,004	60,000	9,490	2,257	35	222
	平成14年度	82,000	82,000	45,000	24,677	3,313	20	8,989
	平成15年度	81,000	81,000	25,321	42,194	4,180	0	9,304
	平成16年度	73,000	73,000	6,616	55,960	4,243	6,009	171
	平成17年度	72,000	72,000	13,165	44,433	7,160	1,241	5,998
	総計	380,000	380,004					
⑤研究組織（研究代表者及び研究分担者）								
氏名	所属研究機関・部局・職	現在の専門	役割分担（研究実施計画に対する分担事項）					
越川 孝範 (研究代表者)	大阪電気通信大学・エレクトロニクス基礎研究所・所長、教授	応用物理学 表面分析機器の設計	研究の総括、「放射光一極微解析ナノスコープ」のレンズ系の最適化と評価					
生田 孝 (研究分担者)	大阪電気通信大学・情報通信工学部・教授	電子光学系の無収差化	焦点位置変調法による無収差化の最適設計					
安江 常夫 (研究分担者)	大阪電気通信大学・情報通信工学部・教授	表面科学	「放射光一極微解析ナノスコープ」のコントロール系の設計と製作および基礎的実験					
木村 吉秀 (研究分担者)	大阪大学大学院・工学研究科・助教授	電子顕微鏡の無収差化機構の試作	焦点位置変調制御系の設計と製作					
吉川 英樹 (研究分担者)	(独)物質・材料研究機構物質研究所・主幹研究員(SPring-8 駐在)	放射光応用分析技術開発	「放射光一極微解析ナノスコープ」を用いた SPring-8 における実験とその評価					
(海外研究協力者)								
Ernst Bauer	アリゾナ州立大学・物理天文学科・教授	表面科学 PEEM/L EEMの開発	「放射光一極微解析ナノスコープ」の電子光学系の設計・解析およびナノスコープの評価					
計 5 名								

### ⑥当初の研究目的

内殻励起光電子により結合状態の情報を得る X線光電子分光法 (XPS) と電子顕微鏡を融合した次世代極微解析顕微鏡である「光電子顕微鏡」の分解能を制限している球面収差を除去することにより、従来より高い分解能を得るとともに信号強度の増加を目指す。もともと信号強度が非常に少ない「内殻励起光電子」なので後者が実現できればこの分野にとってその影響は大変大きい。

球面収差を除去する手法として、研究分担者である生田により独自に提案された「**焦点位置変調球面収差除去法**」を採用する。この手法はすでに未来開拓学術推進事業「次世代超電子顕微鏡の開発」で採用された。このプロジェクトで開発された「超電子顕微鏡」により、無収差電子顕微鏡像を観察して、球面収差によるアーティファクトを除去した実に見事な原子像を得ることに成功している。

「光電子顕微鏡」は従来の電子顕微鏡とは異なり、光を試料に入射して放出される光電子を結像させるため、透過型電子顕微鏡に適用したものと同一手法を用いることは出来ない。本プロジェクトでは、放射光の波長変調により焦点位置を変調する手法に加えて、レンズ系の磁場や電場を変調する方法も提案し、焦点位置を変調して高分解能化を試みる。この開発に加えて関連する開発を行なうとともに、高分解能像を得るための装置設置環境に関する種々の問題点について検討を行い、その解決策も提案する。

ビームタイムに厳しい制限がある放射光施設を使用する必要がある。具体的には SPring-8 の理化学研究所専用ビームライン (BL17SU) を始め国内外の複数の放射光施設のビームラインを利用する。

### ⑦研究成果の概要

研究目的に対する研究成果を必要に応じて図表等を用いながら、具体的に記入してください。

本研究を進めるにあたり、新しく種々の開発を行なうとともに、顕微鏡が設置されている環境の問題点の検討およびその解決を図った。このような一つ一つの積み上げにより始めて「焦点位置変調法」による顕微鏡像向上の検証実験が可能になった。

#### 1. 「焦点位置変調球面収差除去法」の提案と「光電子顕微鏡」への適用

独自の手法なので特許申請を行った (特開 2003-131138)。

#### 2. 焦点位置変調球面収差除去「放射光一極微解析ナノスコープ」の開発

図 1 に試作した装置の写真とシステムの概要を示す。「焦点位置変調」を行う方法については以下の 3 種類の方法を提案した。(1) 対物レンズの電場または磁場の変調、(2) 試料位置の変調、(3) 放射光の分光器の角度変調による波長変調である。実際に採用したのは (1) の対物レンズの磁場変調法で、この方法でシステムの設計・開発を行った。この一連の提案は独自のものなので、特許の申請を行った (特開 2005-108545 および特開 2005-127965)。

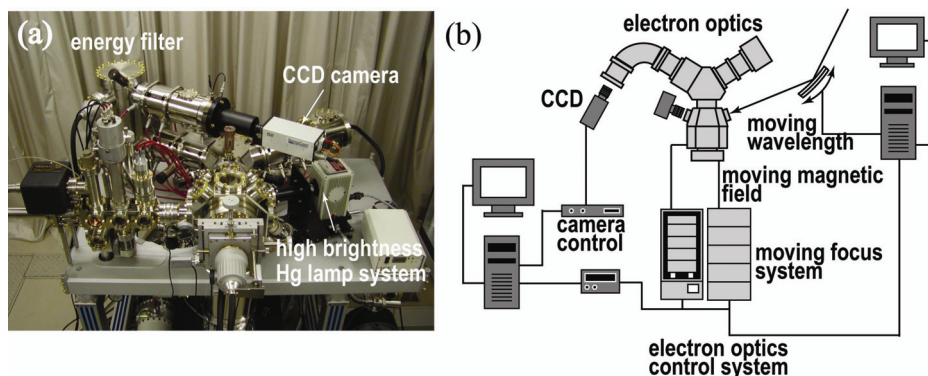


図 1 試作した「放射光一極微解析ナノスコープ」の写真(a)とシステムの概要(b)

#### 3. 「焦点位置変調球面収差除去法」による球面収差除去

上に述べたような一連の周到な準備を行った上で、独自の手法である「焦点位置変調球面収差除去」の実験を行い、主に次の二つポイントにつき検討を行った。

##### (1) 球面収差除去による分解能の向上

##### (2) 大口径「コントラストアパーチャ」使用による信号強度の向上

内殻励起光電子はもともと信号強度が小さいために高分解能測定が難しかったので、球面収差除去により (2) が達成できるとそのメリットは大変大きい。光電子顕微鏡の収差には「回折収差」、「球面収差」、「色収差」がある。回折収差は使用する「コントラストアパーチャ」の径により必然的に決まり、径が大きくなると減少する。「球面収差」と「色収差」はアパーチャ径が大きくなると増加する。その特性は光電子の運動エネルギー、エネルギーフィルターのエネルギー幅等で異なる。これら 3 種類の収差を考慮すると、通常 20  $\mu\text{m}\phi$  程度の径が最も高い分解能を与える。ここでは 20  $\mu\text{m}\phi$  と 100  $\mu\text{m}\phi$  の「コントラストアパーチャ」を用いて取った Au/W(110)の Au4f レベルからの光電子像を比較した。20  $\mu\text{m}\phi$  のアパーチャを用いた像は信号が少なくノイズが多いので 2 倍多く時間 (1 分間) をかけて像を取得した。20  $\mu\text{m}\phi$  の「コントラストアパーチャ」を用いて焦点位置変調を行って得た像には球面収差による独特の像のボケが見られない。

⑦研究成果の概要 つづき

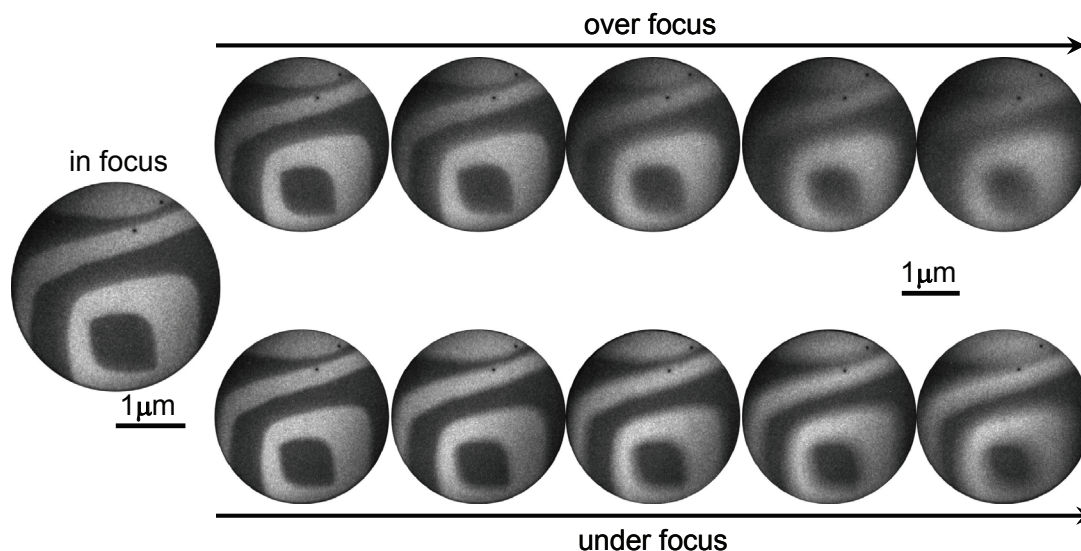


図2 100 μm φの「コントラストアパーチャ」を用い、焦点位置変調を行って得た像。

エネルギーフィルターの幅を 0.25eV と小さくしたが、色収差が支配的だと考えられる。相対的に球面収差を大きくするために、100 μm φの「コントラストアパーチャ」を用い、焦点位置変調を行って得た像には球面収差による独特の像のボケが見られた。その結果を図2に示す。像の焦点位置をずらすと、オーバーフォーカスとアンダーフォーカスでボケが非対称になるのは、球面収差が効いてきていることを示している。

図3Aの(a)は20 μm φの「コントラストアパーチャ」を用いて得た結果で、信号強度が小さいためにノイズが多い。図3Aの(b)は100 μm φの「コントラストアパーチャ」を用いて得たジャストフォーカス像である。図3Aの(c)は「焦点位置変調」を行い、高域強調フィルターをかけた像である。図に示す Au4f 光電子強度のラインプロファイルを図3B(a), (b), (c)に示す。立ち上がりを比較すると、(a)の方が(b)より少し分解能が高い。これはアパーチャ径が小さいために分解能が向上したと考えられるが、(a)の像の信号が少なくノイズが多いため詳細な議論はすることは難しい。「焦点位置変調」を行ってフィルターをかけた結果である(c)をみると「コントラストアパーチャ」径が5倍に大きくなったにもかかわらず、**分解能の向上 (23nm)** がみられた。さらに大きな効果は信号強度の増加であろう。**「コントラストアパーチャ」の径が5倍になったために信号強度が約25倍に増加した。** そのために測定時間が2分の一であるにもかかわらず、明らかに S/N比が向上している。このことは、信号強度が弱く集光ミラーで絞って輝度を上げても十分な信号強度を得るのが難しい「内殻励起光電子像」を高分解能で得るためには大変大きな意味を持つ。

最終的に得られた結果をまとめると

(1)「焦点位置変調法」により「コントラストアパーチャ」径が大きくなっても分解能の向上が見られた。

その結果 Au の「内殻励起光電子」で 23nm の分解能を得た。今までに論文で公表された記録はイタリアの ELETTRA で得られた Pb/W(110)の Pb 単原子層から得た 70nm である。

(2)「焦点位置変調法」を用いることにより、「コントラストアパーチャ」径を大きくすることが可能になったので、信号強度を著しく増加させることが出来た。このことは信号強度が小さい「内殻励起光電子像」の測定にとっては大変大きな貢献をすることになる。

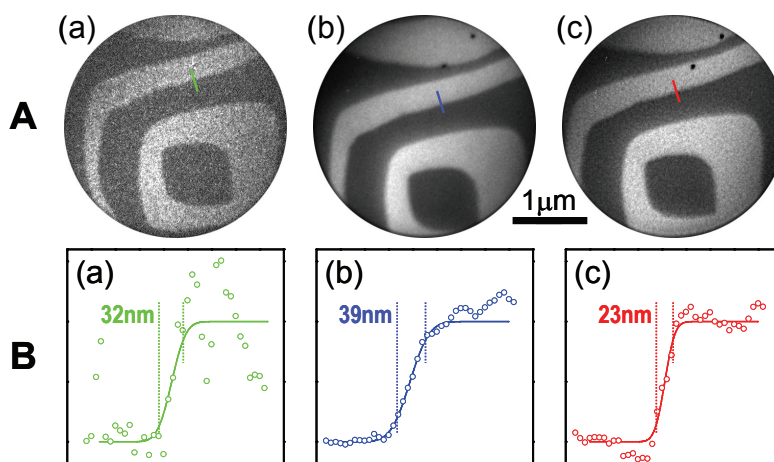


図3A (a)20mmf、(b)100mmf のコントラストアパーチャを用いて得たジャストフォーカス像。(c)焦点位置変調を行った像。

図3B (a), (b), (c)はそれぞれAのラインプロファイル。

**⑧特記事項**

この研究において得られた、独創性・新規性を格段に発展させる結果あるいは可能性、新たな知見、学問的・学術的なインパクト等特記すべき事項があれば記入してください。

**1. 独創性・新規性**

**(1) 「焦点位置変調球面収差除去法」の提案**

本研究グループの生田によって提案された独創的な考え方である。特許の申請を行った。現在公開されている（特開 2003-131138）。

**(2) 具体的な「焦点位置変調法」の3つの手法の提案**

(a) 対物レンズの磁場または電場の変調、(b) 試料位置の変調、(c) 放射光ビームラインの分光器の角度を変調することによる波長変調、を新しく提案した。これらは「光電子顕微鏡」の分野では新しい提案なので、特許の申請を行った。現在公開されている（特開 2005-108545 および特開 2005-127965）。

**2. 新たに行った機器開発**

**(1) 焦点位置変調球面収差除去「放射光一極微解析ナノスコープ」の開発**

3つの「焦点位置変調法」の内の (a) 対物レンズの磁場変調と電場変調を行う方法を採用し、装置の開発を行った。図1に開発した装置の写真とシステムの概要を示す。

**(2) 実験室用の新しい「高輝度光照射システム」の設計と試作**

紫外光照射光学系の球面収差と色収差を除去し、輝度を126倍に向上させることが出来たために光電子像の質が飛躍的に向上した。この成果は独自のものなので特許の申請を国内、米国、ドイツ3カ国（日本：特開 2005-106547、米国：US2005/0067566 A1、ドイツ：DE10 2004 046 747 A1、および現在申請準備中のもの一件）に行い、論文と国際会議でも報告した。この反響は大きく、何度も購入先に関する問い合わせがきて、共同研究企業であるアルバック・ファイ（株）が注文を受けている。

**(3) 放射光施設からの光の輝度を上げるための新しい集光ミラーの設計・試作**

試料上で約30μmφ以下のビーム径を得て、信号強度が小さい内殻励起高分解能光電子像を得ることに成功した。S/N比がいい像を得るために大変重要な試作である。

**3. 新たに得られた知見**

**(1) 「放射光一極微解析ナノスコープ」設置環境の問題点とその解決**

高分解能電子顕微鏡像を得るときの大きな問題点は装置設置環境が与える影響である。「振動」、「各種電源の安定性」、「環境に由来する交流磁場の影響」等につき詳細な検討を行った結果、「トランス」ならびに像を撮影する「CCDカメラ」から生じるわずかな交流磁場（1.23 mG、地磁気の約300分の一）が大きな影響を与えていることがわかった。これらを磁気シールドすることにより、その影響を除き非常に鮮明な像を得た。図3にシールド前後の像を示す。「光電子顕微鏡」の分野で、このような指摘を行ったのは世界で始めてなので、国際会議や論文で報告すると、世界の他の施設で我々の指摘に従って対策を取り始めた。地道な努力の結果を指摘したが、その影響は大変大きかった。

**4. 国際シンポジウムの開催**

日本学術振興会マイクロビームアナリシス第141委員会主催の国際シンポジウム「新材料とデバイスの原子レベルキャラクタリゼーションに関する国際シンポジウム（ALC）」において、2度にわたり本研究に関する特別セッションをもうけ、世界の第一線で活躍している本分野の研究者を招待して、多くの参加者とともに関心な議論を行った。この分野では収差補正による分解能向上に関する関心が非常に高く、本研究の成果に対して高い評価を得ることができた。

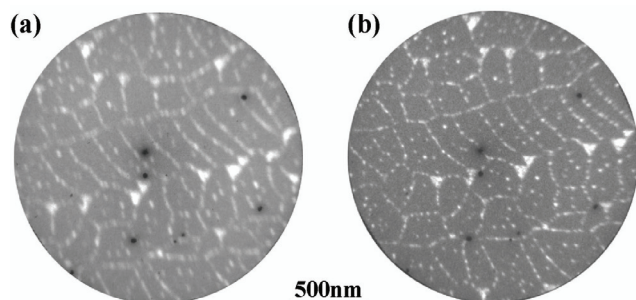


図4 磁気シールド前後の高分解能顕微鏡像。(a)シールド前、(b)シールド後。

**(1) ALC'03 「LEEM/PEEM 特別セッション」(ハワイ・カウアイ島、平成15年10月、参加者185名)**

本特別セッションでの招待講演4件

**(2) ALC'05 「LEEM/PEEM 特別セッション」(ハワイ・ハワイ島、平成17年12月、参加者194名)**

本特別セッションでの招待講演6件、一般講演3件

## ⑨研究成果の発表状況

この研究費による成果の発表に限り、学術誌等に発表した論文（投稿中の論文を記入する場合は、掲載が決定しているものに限ります。）の全著者名、論文名、学協会誌名、巻（号）、最初と最後のページ、発表年（西暦）、及び国際会議、学会等における発表状況について、3頁以内に収めて記入してください。

### (1) 学会誌等

#### I. 学術論文

1. Z.M.Zhang, T.Chen, R.Shimizu, H.Yoshikawa, T.Koshikawa and Z.J.Ding, Dependence of Surface Effects in Photoelectron and Auger Electron Angular Distribution on Glancing Incidence of X-rays, Surf. Interface Anal., in press.
  2. Z.Zhang, Z.Ding, T.Koshikawa, T.Iyasu, R.Shimizu, H.Yoshikawa, S.Fukushima and A.Tanaka, Angular Distribution of X-ray Photoelectrons Emitted from Silver, Surf. Sci. 592 (2005) 18-24.
  3. Z.M.Zhang, Z.J.Ding, H.M.Li, K.Salma, X.Sun, R.Shimizu, T.Koshikawa and K.Goto, Energy-Loss Functions Derived from REELS Spectra for Aluminum, Acta Metallurgica Sinica (English Letters) 18 (2005) 217-222.
  4. F.Guo, T.Wakita, H.Shimizu, T.Matsushita, T.Yasue, T.Koshikawa, E.Bauer and K.Kobayashi, Introduction of Photoemission Electron Microscopes at SPring-8 for Nanotechnology Support, J. Phys.: Condensed Matter 17 (2005) S1363-S1370.
  5. T.Koshikawa, H.Shimizu, R.Amakawa, T.Ikuta, T.Yasue and E.Bauer, New Aberration Correction Method for Photoemission Electron Microscopy by Means of Moving Focus, J. Phys.: Condensed Matter 17 (2005) S1371-S1380.
  6. Z.Zhang, T.Koshikawa, T.Iyasu, R.Shimizu and K.Goto, Comparison of Energy-Loss Functions from Reflection Electron Energy-Loss Spectroscopy Spectra with Surface and Bulk Energy-Loss Functions: in case of Cu, Jpn. J. Appl. Phys. 43 (2004) 7137-7143.
  7. Z.Zhang, T.Iyasu, R.Shimizu, K.Goto, T.Koshikawa and K.Tamura, Effective Depths for Surface Excitation Derived by Reflection Electron Energy-Loss Spectroscopy Analysis, Surf. Interface Anal., 36 (2004) 334-338.
  8. T.Iyasu, K.Tamura, R.Shimizu, Z.Zhang, T.Koshikawa, H.Yoshikawa and S.Fukushima, Monte-Carlo Simulation of Secondary Electron Emission by X-ray Irradiation - an Application of X-ray Absorption Near-Edge Structure (XANES), Surf. Interface Anal., 36 (2004) 1413-1416.
  9. Z.Zhang, T.Koshikawa, T.Iyasu, R.Shimizu and K.Goto, Comparison of Energy-Loss Functions from REELS Spectra with Surface and Bulk Energy Loss Functions for Ag, Surf. Interface Anal., 35 (2003) 403-409.
  10. Z.Zhang, T.Koshikawa, T.Iyasu, R.Shimizu, K.Goto and A.Tanaka, Monte-Carlo Simulation of X-ray Photoelectron Emission from Silver, Surf. Interface Anal., 35 (2003) 818-823.
  11. N.Kuroiwa, Y.Fukushima, P.Rajasekar, H.Neddermeyer, M.Jalochowski, E.Bauer, T.Yasue and T.Koshikawa, Cu Nanostructure Formation and Structure Analysis on Hydrogen-Terminated Si(111) Surface, Surf. Interface Anal., 35 (2003) 24-28.
  12. T.Yasue, T.Koshikawa and E.Bauer, Low Energy Electron Microscopy/Diffraction Study on Growth of Ge on Si(113) Surface, J. Vac. Sci. Technol., B20 (2002) 2496-2499.
  13. T.Yasue, T.Koshikawa, M.Jalochowski and E.Bauer, LEEM Observation of Formation of Cu Nano-Islands on Si(111) Surface by Hydrogen Termination, Surf. Sci. 493 (2001) 381-388.
  14. T.Yasue, T.Koshikawa, M.Jalochowski and E.Bauer, Dynamic Observations of the Formation of Thin Cu Layers on Clean and Hydrogen-Terminated Si(111) Surfaces, Surf. Sci. 480 (2001) 118-127.
- など、計54編

#### II. 解説、総合報告

1. 越川孝範、低エネルギー電子顕微鏡・光電子顕微鏡の最近の発展、応用物理 74 (2005) 1336-1340.
2. 林俊一、安江常夫、越川孝範、E.Bauer、LEEM による鋼における動的挙動の観察、あたりあ 44 (2005)906-909.
3. 越川孝範、安江常夫、低エネルギー電子顕微鏡(LEEM)と光電子顕微鏡(PEEM)の表面研究への応用と将来展望、電子顕微鏡 37 (2002) 121-124.
4. 越川孝範、安江常夫、低エネルギー電子顕微鏡と光電子顕微鏡による動的観察と構造解析、あたりあ 41 (2002) 884-885.
5. 安江常夫、越川孝範、LEEM による Si(111)および H/Si(111)上の Cu ナノ構造形成過程の動的観察と構造解析、表面科学 23 (2002) 271-276.
6. 生田 孝、無収差位相差顕微鏡法に関する新しい理論、応用物理 71 (2002) 389-400.

**(研究成果の発表状況 つづき)**

7. 越川孝範、低エネルギー電子顕微鏡 (LEEM) と光電子顕微鏡 (PEEM) の像形成過程と将来展望、表面科学 23 (2002) 262-270.

など、計 16 編

**III. 著書**

1. 越川孝範、「新訂版・表面科学の基礎と応用」(日本表面科学会編、エヌ・テイー・エス出版、2004年) “基礎編 2.10 LEEM” (分担執筆) .
2. 安江常夫、越川孝範、「表面物性工学ハンドブック第2版」(丸善、印刷中) “5.4 低エネルギー電子顕微鏡 (LEEM)” (分担執筆) .

**IV. 国際会議プロシーディングス**

1. T.Koshikawa, H. Shimizu, A.Nakaguchi, T. Yasue and E.Bauer, Dynamic measurement of ultra thin film growth by using LEEM/PEEM, Proc. of 5th Int. Symp. on Atomic Level Characterizations for New Materials and Devices ALC'05 (2006) 印刷中.

など、計 31 編

**(2) 口頭発表****I. 国際会議での招待講演**

1. T.Koshikawa, Surface and Interface Structure Analysis by Using High Resolution Ion Scattering and LEEM/PEEM, 16th Int. Workshop on Inelastic Ion-Surface Collisions (Schloss Hernstein, Austria, 2006.9、発表予定).
2. T.Koshikawa and T.Yasue, Dynamic Process Observation on Surfaces with LEEM/PEEM, 7th Int. Conf. on Charged Particle Optics (Cambridge, 2006.7、発表予定).
3. T.Koshikawa, H.Shimizu, A.Nakaguchi, T.Yasue and E.Bauer, Dynamic measurement of ultra thin film growth by using LEEM/PEEM, 5th Int. Symp. on Atomic Level Characterizations for New Materials and Devices (Big Island, Hawaii, USA, 2005.12).
4. T.Koshikawa, Aberration corrected PEEM using Moving Focus Method, Symp. on Surf. Phys. '04 (雫石、2004.1).
5. T.Koshikawa, Surface observation by LEEM and PEEM and high resolution PEEM by focus moving method, 4th Int. Symp. on Atomic Level Characterization for New Materials and Devices (ALC'03) (Kauai, Hawaii, USA, 2003.10).
6. T.Koshikawa, Dynamic Observation on Nano-Structure Formation by Cathode Lens Microscopy, 2nd Int. Workshop on Nano-Scale Spectrosc. and Nanotech. (Tokyo, 2002. 11).
7. T. Koshikawa, T. Yasue, T. Ikuta and E. Bauer, Trend of New Surface Microscopy -LEEM and PEEM-, 5th SPring-8 Int. Workshop on 30-m Long Straight Section -On the use of coherent soft-X rays from super-brilliant sources- (SPring-8, Japan, 2002.5).
8. T.Koshikawa, T.Yasue, M.Jalochowski and E.Bauer, Dynamic Observation and Structure Analysis of Nano-Structures on Si, 3rd International Symposium on Atomic Level Characterizations for New Materials and Devices '01 (Nara, 2001.11).

**II. 国内学協会の講演大会、研究会等での招待講演**

1. 越川孝範、表面顕微鏡の現状と展望、日本表面科学会関西支部総会特別講演会(大阪、2006.5、発表予定).
2. 越川孝範、LEEM/PEEM を用いた表面のダイナミック観察と PEEM の分解能向上の試み、日本顕微鏡学会第 61 回学術講演会 (つくば、2005.6).
3. 越川孝範、安江常夫、低エネルギー電子顕微鏡・光電子顕微鏡を用いた表面ダイナミック観察と分解能向上の試み、第 52 回応用物理学関係連合講演会 (埼玉大、2005.3).
4. 越川孝範、LEEM/PEEM を用いた表面研究と放射光 PEEM の分解能向上の試み、第 24 回表面科学講演大会 (早稲田大、2004.11).
5. 越川孝範、LEEM, LEED, PEEM を用いた表面の新しいキャクタリゼーション法、放射光利用連携研究「量子材料研究」第 5 回研究会 (SPring-8、2004.5).
6. 越川孝範、LEEM の基礎と最近の展開、東京大学物性研究所短期研究会「LEEM/PEEM を用いた表面研究の新しい展開」(東大物性研、2004.4).

**(研究成果の発表状況 つづき)**

7. 越川孝範、PEEM/LEEMによる表面のキャラクタリゼーションの最先端、触媒学会・精密表面設計研究会、JST・CREST 田グループ(北大、2004.1).
8. 越川孝範、低エネルギー電子顕微鏡と光電子顕微鏡、第50回応用物理学関係連合講演会(神奈川大、2003.3).
9. 越川孝範、LEEMによる表面研究と球面収差補正によるPEEMの分解能向上、第3回ナノテク支援ワークショップ「高輝度放射光による光電子顕微鏡とその応用」(SPring-8、2002.11).
10. 越川孝範、低エネルギー電子顕微鏡と光電子顕微鏡による動的観察と構造解析、日本学術振興会ナノプロブテクノロジー第167委員会研究会(NEC三田ハウス芝倶楽部、2002.5).
11. 越川孝範、LEEM/PEEMによるイメージ形成の基礎と応用、第63回応用物理学学会学術講演会(愛知工大、2001.9).
12. 越川孝範、LEEM/PEEMの像形成過程と表面研究への応用、日本学術振興会マイクロビームアナリシス第141委員会研究会(ファインセラミックセンター、2001.9).

**III. 国際会議での発表**

1. T.Koshikawa, T.Yasue, A.Nakaguchi, M.Hashimoto, T.Ikuta, A.Locatelli, T.O.Mentes and E.Bauer, Aberration Correction of XPEEM with Moving Focus Method, 16th Int. Microscopy Congress (Sapporo, 2006.9, 発表予定).
- など、計84件

**IV. 国内学協会の講演大会・研究会等での発表**

1. 越川孝範、清水 宏、天川良太、中口明彦、高橋宏彰、安江常夫、生田 孝、E.Bauer、焦点位置変調法を用いたPEEM像の分解能向上、東京大学物性研究所短期研究会「LEEM/PEEMを用いた表面研究の新しい展開」(東大物性研、2004.4).
- など、発表多数

**(3) 研究成果による工業所有権の出願・取得状況**

1. 名称：結像光学装置  
 公開番号：特開 2003-131138  
 公開日：平成 15 年 5 月 8 日  
 出願人：科学技術振興事業団  
 発明者：生田 孝、志水隆一
2. 名称：電子・2次イオン顕微鏡装置  
 公開番号：特開 2005-108545  
 公開日：平成 17 年 4 月 21 日  
 出願人：学校法人 大阪電気通信大学  
 発明者：越川孝範、生田孝、安江常夫
3. 名称：光電子顕微鏡及び該顕微鏡を用いた測定方法  
 公開番号：特開 2005-106547 (日本)  
           US2005/0067566 A1 (アメリカ)  
           DE 10 2004 046 747 A1 (ドイツ)  
 公開日：平成 17 年 4 月 21 日 (日本)  
           平成 17 年 3 月 31 日 (アメリカ)  
           平成 17 年 4 月 14 日 (ドイツ)  
 出願人：アルバック・ファイ株式会社、越川孝範  
 発明者：越川孝範、生田孝、安江常夫、田口雅美、田中伊吹
4. 名称：高分解能・化学結合電子・2次イオン顕微鏡装置  
 公開番号：特開 2005-127967  
 公開日：平成 17 年 5 月 19 日  
 出願人：学校法人 大阪電気通信大学  
 発明者：越川孝範
5. 名称：絶対仕事関数電子顕微鏡 (出願手続き中)