

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2007～2010

課題番号：19201022

研究課題名（和文） 絶対仕事関数ナノスコープ

研究課題名（英文） Nanoscope for Absolute Work Function Imaging

研究代表者

越川 孝範 (KOSHIKAWA TAKANORI)

大阪電気通信大学・工学部・教授

研究者番号：60098085

研究代表者の専門分野：応用物理学

科研費の分科・細目：ナノ・マイクロ科学、ナノ材料・ナノバイオサイエンス

キーワード：ナノ計測、ナノ表面界面

1. 研究計画の概要

仕事関数は古くから測定が行われてきた古典的な物理量であり、表面からの電子の放出を左右する基礎的な物理量であるために多くの研究者により測定が行われてきた。しかし、同じ物質でかつ同じ指数の表面でも測定により得られる仕事関数の値には大きなばらつきがある。その理由はいろいろと考えられる。まず測定者が作った表面が同じでない（つまり表面の汚染状態が同じでない）こと、測定を行うときに参照する試料の仕事関数の値が正確には決まっていな等が挙げられる。そこで本研究では、参照試料を必要としない「絶対仕事関数」を高分解能で得ることが出来る新しい高分解能「顕微鏡」の開発を行うことを目的としている。

測定の原理はいたって簡単であり、光電効果により光電子放出が起こる閾値のマッピングを行うものである。マッピングは光電子顕微鏡（PEEM）により行う。分光した単色の紫外線を励起源として、紫外線のエネルギー（波長）を変化させることにより空間分解された仕事関数が測定できる「絶対仕事関数ナノスコープ」が可能である。

2. 研究の進捗状況

(1) 集光レンズ系の設計と製作

レンズ系の設計においては、用いる光の波長を変化させても効率よく試料上で集光できるように、球面収差と色収差の補正を行った。この場合、レンズの材質として、通常用いられる石英以外にフッ化カルシウムも併用した。基本的な設計方針として、光源（分光器）からの光を一旦平行ビームとし、真空用のぞき窓を通した後、試料直前にもレンズ系を設

置して試料上に倍率1の像を結ぶこととした。製作したレンズ系ではほぼ所望の特性が得られているが、フッ化カルシウム製レンズにおいてカラーセンターが発生する問題が明らかとなっており、これが特性にどのように影響を及ぼすかの検証が必要である。

(2) 分光器の設計と製作

絶対仕事関数マッピングに必要な紫外分光器の設計を行い、製作を行った。ここでは光学系の一部にトロイダル鏡を採用することにより、分散方向と垂直な方向の光の広がりを抑える工夫をした。製作した光学部品を組み込んだ分光器の調整を行い、基礎的な特性の評価を行った。迷光については、実際の仕事関数顕微鏡像を取得するときに最終的な評価を行う予定にしている。現時点では低倍率の像においても視野内でほぼ均一な照明となっていることを確認しており、ほぼ設計通りの性能を有することを示すことができた。

(3) 二次電子による仕事関数測定

絶対仕事関数のマッピングに先立って、W(110)上のCu薄膜の膜厚によって仕事関数がどう変化するかを測定を行った。Cuの蒸着を行いながらナノスコープのエネルギー分散測定モードで光電子スペクトルを測定し、二次電子のカットオフ位置の変化から仕事関数変化を測定した。そして、測定した仕事関数変化と光電子顕微鏡像で観察されるコントラストの変化を比較し、仕事関数に依存しないコントラストが出現する膜厚を明らかにした。さらに低エネルギー電子顕微鏡、低速電子回折による観察を併用して、Cu薄膜の表面構造の変化とも相

関も観察して、光電子顕微鏡像コントラストにおいて仕事関数以外の要因が何であるかを明らかにする実験を行った。

(4) 収差補正法の検討

絶対仕事関数顕微鏡では分光した光を用いるため、必然的に光電子強度が小さく、信号強度を稼ぐためにはコントラストアパーチャを大きくする必要がある。しかしこの場合には対物レンズの球面収差により、光電子顕微鏡像の分解能が劣化する。こうした問題を克服するために、電子光学的な収差補正に関しても検討を進めてきた。絶対仕事関数顕微鏡のベースとなっている光電子顕微鏡では、低エネルギー電子を結像するため色収差の影響が比較的大きく、球面収差だけでなく色収差補正もしなければならぬため、ミラーコレクタを用いる方法が適している。ミラーコレクタの電子光学シミュレーションを行ったが、その結果として、用いる電源に高い安定度が必要であることが明らかとなった。また、ミラーコレクタでは球面収差・色収差の補正が可能であるが、軸外収差、特に歪み収差が非常に大きく、観察される像に歪が生じることも明らかとなってきた。

3. 現在までの達成度

②おおむね順調に進展している。

上記で述べたように、集光レンズ系、分光器の設計と製作、仕事関数変化量の測定、収差補正に関する検討を進めてきた。これらはいずれも当初の研究計画に沿って進めているものである。開発した絶対仕事関数ナノスコープの調整作業に予想以上の時間を費やしたが、絶対仕事関数のマッピングを行うに十分な検討も終了している。これらより現在のところおおむね順調に研究が進んでいると判断している。

4. 今後の研究の推進方策

今後は開発した絶対仕事関数ナノスコープによる仕事関数マッピングに取り組む。実際にマッピングを行うときに予想される問題としては、仕事関数の違いにより放出される光電子の運動エネルギーが異なることによる影響が挙げられる。本ナノスコープではエネルギーフィルターにより光電子の運動エネルギー分析を行って結像するので、運動エネルギーの違いによる影響が避けられない。これを回避する方法として、照射する光のエネルギーを変化させるとともに、結像する光電子の運動エネルギーを変化させることが有効であると考えている。これが実現できるシステムの構築を急ぎ、さらに詳細な検討を進めていく予定にしている。

5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

① K. Tsuno, T. Yasue and T. Koshikawa, Design of a Mirror Aberration Corrector and a Beam Separator for LEEM, *Appl. Surf. Sci.*, 査読有, 256, 2009年, pp.1035-1041.

[学会発表] (計3件)

- ① H. Shimizu, M. Hashimoto, A. Nakaguchi, T. Yasue, E. Bauer and T. Koshikawa, PEEM Intensity on Surface Structure of Cu/W(110), 5th Int. Symp. on Surf. Sci. Nanotechnology (Tokyo, 2008.11.).
- ② T. Koshikawa and T. Yasue, Development of Absolute Work Function Microscope, 4th Vac. Surf. Sci. Conf. of Asia and Australia (Matsue, 2008.10.).
- ③ H. Shimizu, M. Hashimoto, A. Nakaguchi, T. Yasue, E. Bauer and T. Koshikawa, Contrast Mechanism in PEEM on Cu/W(110), 4th Vac. Surf. Sci. Conf. of Asia and Australia (Matsue, 2008.10.).

[その他]

(1) ホームページ

<http://www.osakac.ac.jp/labs/kosikawa/>

(2) 本研究の成果を含む国際会議での招待講演

- ① T. Koshikawa, The Development and Future of the Emission Microscope (基調講演), ICXOM 2007 (Kyoto, 2007.9).
- ② T. Koshikawa, Past, Present and Future of LEEM/PEEM (基調講演), ALC'07 (Kanazawa, 2007.10).
- ③ T. Koshikawa, Dynamic Observation on Surfaces and New Development on LEEM/PEEM Instrumentation. ACSIN9 (Tokyo, 2007.11).
- ④ T. Koshikawa, LEEM/PEEM of Ultrathin Films, 2008 MRS Spring Meeting (San Francisco, 2008.3).
- ⑤ T. Koshikawa, Dynamic Observation and High Resolution Element Mapping Study with LEEM and SR-XPEEM, APMC-9 (Jeju, 2008.11).
- ⑥ T. Koshikawa, Dynamic Observation of Surfaces and New Development on LEEM/PEEM, PSI 2009 (Puri, 2009.2).
- ⑦ T. Koshikawa, Surface and Interface analysis with MEIS and LEEM/PEEM, HRDP-5 (Kyoto, 2009.11).
- ⑧ T. Koshikawa, Surface study with MEIS and LEEM/PEEM, IISC-18 (Gatlinburg, 2010.9).