

分光型光電子・低エネルギー電子顕微鏡による 微小構造の電子状態分析

Analysis of electronic states for microstructures using spectroscopic photoemission and low energy electron microscope

安原隆太郎¹、谷内敏之¹、組頭広志¹、尾嶋正治¹、郭 方准²、小野寛太³、木下豊彦²、
池田和人⁴、劉 国林⁴、劉 紫園⁴、臼田宏治⁴

Ryutaro Yasuhara¹, Toshiyuki Taniuchi¹, Hiroshi Kumigashira¹, Masaharu Oshima¹, Fangzhun Guo²,
Kanta Ono³, Toyohiko Kinoshita², Kazuto Ikeda⁴, Guo-Lin Liu⁴, Ziyuan Liu⁴, and Koji Usuda⁴

¹ 東京大学大学院工学系研究科応用化学専攻、² 高輝度光科学研究センター、

³ 高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所、⁴ 半導体理工学研究センター

¹Department of Applied Chemistry, The University of Tokyo, ²SPRING-8/JASRI,

³Institute of Materials Structure Science, KEK, ⁴Semiconductor Technology Academic Research Center

HfO₂/Si ゲートスタック構造試料の微小領域における電子状態を観察するため、SPRING-8 の BL17SU で分光型光電子・低エネルギー電子顕微鏡 (SPELEEM) を用いて微小領域の光電子スペクトル観測を行い、HfO₂-SiO₂ パターン試料の各領域における光電子スペクトルを得た。しかし、真空度の問題で、予定していた UHV 中加熱実験は出来なかった。一方、X 線磁気円二色性による磁性ナノ構造の磁区観察を試みたが、高い空間分解能 (50 nm) での光電子イメージは得られたものの磁気イメージングは得られなかった。

In order to observe the electronic structures in the micro region of HfO₂/Si gate stack structure, we have performed micro-region photoemission spectroscopy measurements using spectroscopic photoemission and low energy electron microscope (SPELEEM) at BL17SU, SPRING-8, and observed photoemission spectra in each region of HfO₂-SiO₂ patterned films. Although we have also attempted magnetic imaging of the magnetic nanostructures using x-ray circular magnetic dichroism SPELEEM, no magnetic domains were observed probably due to the set-up problems.

背景と研究目的

分光型光電子・低エネルギー電子顕微鏡 (spectroscopic photoemission and low energy electron microscope: SPELEEM) は水銀ランプおよび電子銃を備えており、また電子検出側半球型エネルギー分析器を用いることにより光電子のエネルギー分解が可能である。さらに、高輝

度放射光とエネルギー分析器を用いることにより微小領域の光電子スペクトルを得ることができる。このため、装置の高い空間分解能と高輝度放射光によりナノスケールの非常に微細な構造の電子状態を観測できるツールとして期待が高まっている。

一方、高誘電率 (high- k) ゲート絶縁膜の

有力な候補である HfO_2 は超高真空中加熱によりシリサイド化反応が起こることが知られており、反応初期において膜中にサブミクロンサイズの void 構造を形成することが報告されている 1), 2)。それゆえ、Hf シリサイド形成のメカニズムを解明するためには、微小領域の電子状態を調べる必要がある。

そこで今回我々は SPELEEM を用いて HfO_2 - SiO_2 リソ加工パターン試料の微小領域の電子状態観測を行い、Hf シリサイド形成中の光電子スペクトルの変化を調べることを目的として実験を行った。

一方、本研究では実験ビームラインの可変偏光性と SPELEEM 装置の高い空間分解能を利用して、X 線磁気円二色性による磁性ナノ構造の磁区構造観察も試みた。

実験

HfO_2 - SiO_2 リソ加工パターン試料は Ar プラズマエッチングによって作製した。一方、磁性ナノ構造試料はワイヤー状のパーマロイ ($\text{Ni}_{81}\text{Fe}_{19}$) ナノパターンである。パターンのピッチは 1100 nm、線幅は 120 nm であり、電子線リソグラフィによって作製した。

実験は SPring-8 のビームライン BL17SU にて SPELEEM を用いて行った。SPELEEM 装置の測定チェンバーで HfO_2 - SiO_2 試料の超高真空中加熱を行いながら光電子像をリアルタイム観察するとともに放射光を光源とする微小領域の光電子分光測定を行った。また、ナノパターン加工を施したパーマロイ試料の磁区構造観察も併せて行った。

結果と考察

Figure 1 に、励起エネルギー 500 eV の光

を用いた HfO_2 - SiO_2 パターン試料の PEEM (photoemission electron microscope) 像と、800 eV の光に用いて分散モードで取得した各領域 ($5\ \mu\text{m}\ \phi$) の O 1s 光電子スペクトルを示す。視野内右側の SiO_2 領域では SiO_2 と HfO_2 に由来する成分が見られているのに対し、左側の HfO_2 領域では HfO_2 に由来するピークのみを観測した。さらに、今回の実験ではエネルギー分析器のアナライザースリットをスキャンして測定するエネルギースキャンモードによる光電子スペクトルの取得にも成功した。しかし、数 100 nm 四方というきわめて微小な領域のスペクトルを得るためには数時間という時間を要するため、長時間にわたって装置のわずかな振動をも防ぐことが要求される。このため、今後は装置の固定とともに除振機構の確立が必要であると考えられる。また、前回の実験 2006A では真空度が良かったので UHV 中加熱が出来たが、今回のビームタイムでは真空度が悪く、予定していた実験が行えなかった。

一方、磁性ナノ構造の磁区構造観察を試みたところ、50 nm という高い空間分解能を有

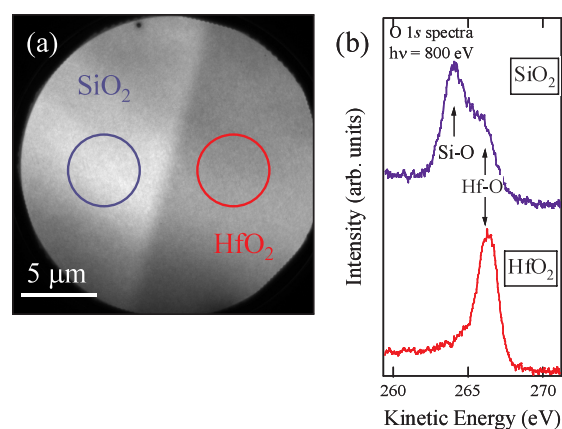


Fig. 1 (a) PEEM image of the HfO_2 - SiO_2 patterned film using the photon energy of 500 eV. (b) O 1s photoemission spectra of each region using the photon energy of 800 eV. Each circle in the PEEM image indicates the measured area.

する光電子像を得ることに成功した。磁気イメージは、Ni L_3 吸収端に対応する光子エネルギーの円偏光を用いて、左・右円偏光で得られた2つの像から得ようと試みたが、磁気ナノ構造中の磁気コントラストは得られなかった。昨年度 BL25SU の PEEM で明瞭な磁区観察を行った試料を用いてテストを行ったが、全く磁気コントラストは得られなかった。原因はビームラインの円偏光度にあるのか、SPELEEM 内の残留磁場にあるか不明である。また、測定中に像のドリフトが激しく、これを解決しないと満足できる磁気イメージが得られない。早急に対策を講じて頂きたい。

題となっている MOS トランジスタにおいて、これまでのシリコン酸化膜に変わり新しく用いられる高誘電率 (high- k) の絶縁膜のこと。

今後の課題

今回 SPELEEM を用いることで微小領域の光電子スペクトル、および線幅 120 nm という非常に微細な構造の光電子顕微鏡像が観測された。しかし、装置上の問題により予定していた磁気イメージングが得られなかった。また、high- k ゲート絶縁膜の UHV 中加熱実験においても真空度が悪かったために加熱が出来ないという状況に追い込まれた。真空度維持は基本である。装置をベストコンディションに維持する努力を是非お願いしたい。

参考文献

- 1) N. Miyata *et al.*, Appl. Phys. Lett. **82**, 3880 (2003).
- 2) H. Takahashi *et al.*, Appl. Phys. Lett. **87**, 012903 (2005).

キーワード

・ high- k ゲート絶縁膜

絶縁膜の極薄化に伴いリーク電流の増加が問