

## ULSI 用極薄ゲート絶縁膜電子状態の動的観測

東大工<sup>1</sup>、STARC<sup>2</sup>、JST-CREST<sup>3</sup>谷村龍彦<sup>1</sup>、豊田智史<sup>1</sup>、組頭広志<sup>1,3</sup>、尾嶋正治<sup>1,3</sup>、池田和人<sup>2</sup>、劉国林<sup>2</sup>、劉紫園<sup>2</sup>、白田宏治<sup>2</sup>The Univ. of Tokyo<sup>1</sup>、STARC<sup>2</sup>、JST-CREST<sup>3</sup>T. Tanimura<sup>1</sup>、S. Toyoda<sup>1</sup>、H. Kumigashira<sup>1,3</sup>、M. Oshima<sup>1,3</sup>、K. Ikeda<sup>2</sup>、G. L. Liu<sup>2</sup>、Z. Liu<sup>2</sup>、K. Usuda<sup>2</sup>

**1. はじめに** high- $k$  ゲート絶縁膜は、従来絶縁膜として用いられてきた  $\text{SiO}_2$  膜と比べて一般にバンドギャップが小さいため、デバイスを精密設計するにはより厳密なバンドオフセットの決定が必要となる。光電子分光は極薄膜のバンドオフセットの評価に有力な実験手法となるが、測定のために X 線を照射することでスペクトルのピーク位置がシフトするという問題が報告されている。正確なバンドオフセットの決定にはこの影響を取り除くことが必要不可欠であるが、その起源については未だ明らかにされていない。そこで、本研究では放射光を用いて光電子分光スペクトルの照射時間依存性について調べることで、その起源を解明し、かつバンドオフセットの正確な補正法を確立することを目的とした。

**2. 実験方法**  $\text{SiO}_2/\text{Si}$ 、および high- $k$  ゲート絶縁膜試料  $\text{HfO}_2/\text{Si}$ 、 $\text{HfSiO}/\text{Si}$ 、 $\text{HfSiON}/\text{Si}$  について内殻光電子分光時間依存性測定を行い、同時に試料に流れる補償電流（試料電流）を計測した。high- $k$  絶縁膜試料については価電子帯スペクトルと X 線吸収スペクトルを測定し、バンドオフセットを決定した。

**3. 結果と考察**  $\text{HfSiON}/\text{Si}$  時間依存性測定の結果を図 1 に示す。試料によってシフトの量や飽和する速さなど変化の様子は異なるが、定性的には照射直後高結合エネルギー側にシフトした後、低結合エネルギー側にシフトするという傾向がある。半値幅および試料電流の変化と併せて考えると、1) X 線照射直後の光電子放出により絶縁膜が正に帯電し、基板のバンドが高結合エネルギー側に大きく曲がる、2) この非平衡状態が、試料電流の増大とともに徐々に緩和され平衡状態に移行する、という 2 つの過程をそれぞれ観測したものと考えられる。次に、これらのシフトから見積もった high- $k$  ゲート絶縁膜試料の価電子帯オフセット ( $\Delta E_v$ ) の変化を図 2 に示す。個々の試料において、照射時間により実験値は数 100 meV 変化し、これが時間依存性による誤差となる。この誤差はバンドが曲がりピークがシフトしたために生じたものであるから、補正するには時間 0 に外挿すればよい。補正の有無により、トンネル効果によるリーク電流にどのような影響を与えるかシミュレーションを行ったところ、補正したバンドオフセットを用いて計算したリーク電流は、補正を行っていないもの比べて数倍大きくなるという結果が得られた。このように、時間依存性の影響を考慮しなければゲート絶縁膜の絶縁性を過大評価する危険性があることを明らかにした。

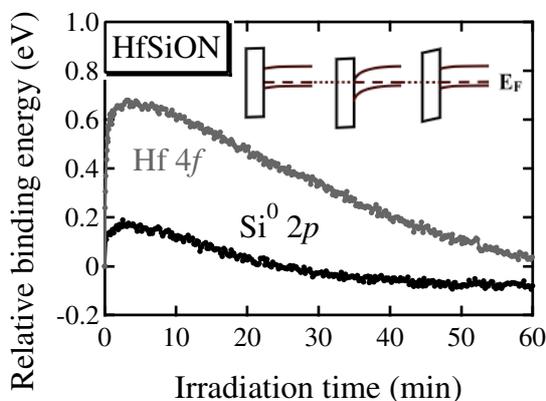


図 1  $\text{HfSiON}/\text{Si}$  における  $\text{Hf } 4f$ 、 $\text{Si } 2p$  内殻スペクトルエネルギー位置照射時間依存性

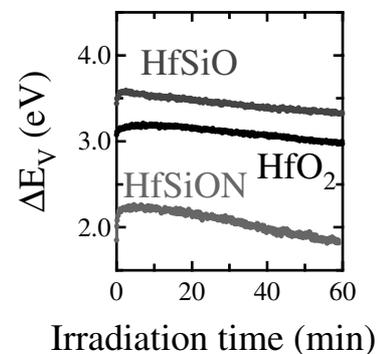


図 2 high- $k$  絶縁膜試料の価電子帯オフセットの変化