



Title	Observation of Interface States in the Si Band-gap for MOS Devices by Means of XPS Measurements under Biases
Author(s)	山下, 良之
Citation	大阪大学, 1998, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/40651
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 ＜a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed >大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏 名	やま した よし ゆき 山 下 良 之
博士の専攻分野の名称	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	第 1 3 9 7 9 号
学 位 授 与 年 月 日	平成10年 3 月 25 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第4条第1項該当 基礎工学研究科化学系専攻
学 位 論 文 名	Observation of Interface States in the Si Band-gap for MOS Devices by Means of XPS Measurements under Biases (バイアス電圧印加時のXPS 測定によるMOS デバイスのシリコンバンドギャップ内の界面準位の観測)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 中戸 義禮 (副査) 教 授 岡田 正 教 授 松村 道雄 助教授 小林 光

論 文 内 容 の 要 旨

酸化膜／半導体界面のバンドギャップ内に存在する界面準位は1/100モノレイヤー以下と低密度にも拘わらず、金属－酸化膜－半導体 (MOS) デバイスの電気的特性に重要な影響を及ぼす。LSI の集積度の増加に伴い、MOS デバイスの酸化膜厚が減少しているが、5nm 以下の酸化膜を持つ MOS デバイスの界面準位のエネルギー分布を直接的に精度良く求める手法が確立されていない。そして、界面準位の原子レベルでの構造も明らかではない。本研究では上記のことをふまえて次に示すような研究を行った。

(1) 極薄酸化膜をもつ MOS デバイスの界面準位のエネルギー分布を測定する手法の開発

(2) シリコンの界面準位の原子レベルでの構造決定

極薄酸化膜をもつ MOS デバイスの界面準位のエネルギー分布を求めるために、“バイアス電圧印加時の XPS 測定” という新しい手法を開発した。MOS デバイスの金属と半導体間にバイアス電圧を印加することによって界面準位の電子による占有率が変わり、界面準位に蓄積される電荷量が変わる。このため、酸化膜中の電位勾配が変化し、半導体の内殻準位のエネルギーがシフトする。このシフト量をバイアス電圧の関数として観測すれば、界面準位のエネルギー分布を直接的に求めることができる。その手法は、トンネル電流が流れる極薄酸化膜にも適用でき、電気的測定では求めることが困難である価電子帯や伝導帯近傍の界面準位も観測することができる。この手法を用いることにより界面準位のエネルギー分布を分光学的に世界で初めて観測することに成功した。

種々の方法で作製した極薄酸化膜をもつ Si-MOS デバイスの界面準位のエネルギー分布をバイアス電圧印加時の XPS 測定により観測し、さらに AFM やシンクロトロン UPS を用いて酸化膜の化学結合状態及び酸化膜／シリコン界面構造を求めた。そして、これらの結果と理論計算の結果を比較、検討することによって界面準位の原子レベルでの構造に関する数々の情報を得ることに成功した。界面準位のエネルギー分布が discrete なエネルギー準位をもつことから、界面のシリコンダングリングボンドが界面準位の原因であり、界面準位のエネルギー分布は酸化膜の原子密度に依存し、一方、界面準位密度は酸化膜／シリコン界面のラフネスに依存することがわかった。

論文審査の結果の要旨

LSI や太陽電池などの半導体デバイスに用いられる金属-酸化物-半導体 (MOS) デバイスの電気的特性は、酸化物/半導体界面に存在する界面準位に大きく影響される。近年、デバイスの集積度の増加とともに酸化膜の薄膜化が進行し、界面の構造を精密に制御することがますます重要となっている。本論文は、こうした観点から、2～4 nm の極薄酸化膜をもつ MOS デバイスの界面準位の新しい測定法、すなわち、“バイアス電圧印加時の XPS 測定法”を開発し、これを用いて種々の方法で作製した酸化膜をもつ MOS デバイスの界面準位のエネルギー分布を観測し、この原子レベルでの起源を解明したものである。

本研究で開発した方法の特徴は、2～4 nm の極薄酸化膜の界面準位のエネルギー分布を直接的に求める点にある。MOS デバイスの金属と半導体の間にバイアス電圧を印加すると、界面準位の占有率が変化し、酸化膜中の電位勾配が変化し、その結果、半導体の内殻準位のエネルギーがシフトする。したがって、このシフト量を XPS によりバイアス電圧の関数として観測すれば、半導体のバンドギャップ領域の界面準位密度を求めることができる。

第1章では、極薄酸化膜をもつ MOS デバイスの界面準位を求める新しい方法の開発の必要性が述べられ、第2章では、〈3nm 白金/2.5nm酸化膜/Si(100)〉構造の MOS デバイスについて、バイアス電圧を印加した状態で XPS の測定が可能であり、また、バイアス電圧の印加によって基板 Si 2P レベルがシフトすることが示されている。第3章では、2.5nm の自然酸化膜をもつ Si-MOS デバイスの界面準位をこの方法で測定して、バンドギャップの中央近傍 (ミッドギャップ) に界面準位ピークが存在することを明らかにしている。さらに、理論計算との比較から、このピークは孤立したシリコンダングリングボンドによるものと結論している。

第4章では、極薄酸化膜をもつ Si-MOS デバイスの界面準位のエネルギー分布を測定し、ミッドギャップの上下に1本ずつの界面準位ピークが存在することを明らかにして、これを界面に存在するシリコンダングリングボンドが酸化膜中のシリコン原子や酸素原子と弱く相互作用した結果、界面準位ピークがミッドギャップから上下にシフトしたためと説明している。第5章では、酸化性溶液中で形成された化学酸化膜をもつ MOS デバイスについて界面準位のエネルギー分布を観測している。酸化膜の形成方法の違いによって界面準位ピークが1本、2本、または3本となることを見だし、酸化膜の原子密度の違いによると説明している。第6章では、化学酸化膜をもつ Si(111) MOS デバイスと Si(100) MOS デバイスの界面準位のエネルギー分布が比較されている。第7章では、原子レベルで平坦な Si(111)/酸化膜界面をもつ MOS デバイスの界面準位を観測して、平坦面にすることによって界面準位密度が大幅に低減することを見いだしている。

以上のように、本論文は、バイアス電圧印加時の XPS 測定という界面準位の新しい観測法を開発し、これを用いて極薄酸化膜をもつ MOS デバイスの半導体/酸化膜界面の電子状態、化学結合状態を研究し、数多くの新しい知見を得ている。これらの成果は、関係領域の学問的發展に大きく寄与するのみならず、半導体デバイスの開発という工業的応用面にも大きく貢献している。よって、本論文は博士 (理学) の学位論文として価値あるものと認められた。