

論文内容の要旨

博士論文題目

Electronic Properties of Metal-adsorbed Semiconductor Subsurfaces Studied by Angle-Resolved Photoelectron Spectroscopy

(角度分解光電子分光法を用いた金属吸着半導体表面近傍の電子状態)

氏 名 坂田 智裕

(論文内容の要旨)

物質の表面状態とバルク状態の接続領域である表面近傍の電子状態は、表面状態からバルク状態への影響によりバルク状態とは異なった電子状態を持つ。特に空間電荷層中に形成されるサブバンドや金属吸着によって誘起される表面近傍に局在する表面共鳴バンドの発見に見られるように、半導体表面のみならず表面近傍の電子状態も、金属吸着によって大きく変わると予想される。また、表面近傍の電子状態は半導体不純物濃度分布変調によっても変化するものと予想される。これらの解明、実証は半導体表面近傍のバンドエンジニアリング技術の確立のためにも重要な基礎研究である。本論文では、表面近傍のドーピング量を変調させた Si や金属を吸着させた Ge の表面近傍の電子状態とその物性を、主に角度分解光電子分光法によって解明した。

【Si 表面清浄化のためのフラッシュアニールが及ぼす Si サブバンドへの影響】

数回(約 5 回)のフラッシュアニールによる表面から 50 nm における不純物(ヒ素)濃度の急激な減少を SIMS によって明らかにした。その不純物濃度の減少は、バンド湾曲形状の広がりを誘起し、その結果サブバンド準位間隔が狭くなる事を見いだした。このフラッシュアニールによって減少したサブバンドの準位間隔は、不純物減少を考慮した計算値とよく一致しており、先行研究によって報告されていたサブバンド準位間隔と計算値の不一致の原因がフラッシュアニールによる不純物減少である事を実験的に証明した。

【Pb 吸着 Ge(001)における電子状態の解明】

Ge(001)へのPb蒸着中のRHEED観察から、従来報告されていたPb被覆量0.5 ML～1.5 MLで観測されるc(8x4)構造には、0.75 MLで主となる α -c(8x4)相と1.5

MLで主となる β -c(8x4)相の二つの構造が対応する事を見いだした。ARPES結果では、Geのバルクバンドに加え、Ge(001)へのPb吸着によって新たなバンド分散“R band”が発現する事がわかり、バンド構造のPb被覆量依存を調べる事でR bandの由来がGe表面近傍に局在した表面共鳴状態である事を見いだした。またこのR bandの出現と同時にGeバルクバンドの有効質量の減少が観測された。この現象について、RバンドとGeバルクバンドのバンド間相互作用によって定量的に説明することに成功した。この結果は、Geへの数原子層の金属吸着によってGe表面近傍の電子状態を変調出来る事を示唆しており、次世代半導体デバイスの性能向上に向けたGe表面近傍の電子状態チューニング技術確立のための萌芽的研究結果と考えられる。

氏 名	坂田 智裕
-----	-------

(論文審査結果の要旨)

本論文は、半導体表面近傍のバンドエンジニアリング技術にとって重要な基礎情報の一つとなる局所(表面近傍)ドーピング変調 Si (111) 基板や金属吸着 Ge (001) 基板の表面近傍の電子状態とその物性を、主に角度分解光電子分光法 ARPES を用いて解明した研究である。本論文は以下の成果を得ている。

1. Si 表面清浄化のためのフラッシュアニールが及ぼす Si サブバンドへの影響。超高真空下で加熱回数を制御することにより表面から 50 nm における不純物(ヒ素)ドーピング濃度を減少させた場合(濃度分布は SIMS で評価)、Pb 蒸着後に現れるサブバンド(電子状態は ARPES で評価)が変化することを見出して。更に、その不純物濃度の減少はバンド湾曲形状の広がり誘起し、その結果サブバンド準位間隔が狭くなる事を、定量的に明らかにした。

2. Pb 吸着 Ge (001) における電子状態の解明。Ge (001) への Pb 蒸着中の RHEED 観察から、従来報告されていた Pb 被覆量 0.5 ML~1.5 ML で観測される c (8x4) 構造には、0.75 ML で主となる α -c (8x4) 相と 1.5 ML で主となる β -c (8x4) 相の二つの異なる構造が存在する事を明らかにした。ARPES 測定から、Ge のバルクバンドに加え、Ge (001) への Pb 吸着によって新たなバンド分散 “R band” が発現する事を見出した。Pb 被覆量依存より R band の由来が Ge 表面近傍に局在した表面共鳴状態である事を示した。また、R band の出現と同時に Ge バルクバンドの有効質量の減少を見出し、これを R バンドと Ge バルクバンドのバンド間相互作用によって定量的に説明することに成功した。

以上のように、本論文は、表面近傍のドーピング変調や表面に金属が吸着した Si や Ge の表面近傍に生じる新たな電子状態について、角度分解光電子分光法等によって詳細に解明した学術的に意義深い研究である。よって審査員一同は本論文が博士(理学)の学位論文として価値あるものと認めた。