

論文審査の結果の要旨

氏名 松田巖

本論文では、半導体表面上金属吸着層のモデル系として Ag/Si(001)系の表面電子構造及び量子井戸状態を詳細に研究している。

第1章では、技術及び学問界における本研究の一般的な位置付けをし、本研究の主題である表面電子構造及び量子井戸状態に関するレビューを行っている。

第2章は、本論文で用いられた分析法の原理とその実験装置について詳細に述べられている。用いられた分析手段は、低速電子回折 (LEED), 反射高速電子線回折 (RHEED), 放射光を用いた角度分解光電子分光 (ARPES), 走査トンネル顕微鏡 (STM) である。またこの章では本論文におけるサンプル作成条件も詳細に述べられている。特筆すべきは、Si(001)基板の作成方法である。Si(001)基板は互いに 90° 回転した2つのドメインからなり ARPES などの表面分析法による研究は2つドメインの情報が重なりその解析が大変困難である。そこで論文提出者は一方のドメインのみを優勢に成長させるシングルドメイン化の方法を独自で開発し、そのシングルドメイン Si(001)基板を用いて各 Ag 吸着表面層の研究を行い、その分析/解析をより信頼性の高いものに行っている。

第3章では、Si(001)上 Ag 吸着表面層の電子構造の研究結果が述べられている。Ag/Si(001)表面層の電子構造研究はこれまでなく、論文提出者は報告されている総ての秩序相 (Si(001)2x3-Ag, Si(001)c(6x2)-Ag, Si(001)2x1-Ag) のフェルミ準位から Ag 4d 準位までの電子構造を ARPES によって詳細に調べた。総ての表面は半導体的であることを確認し、また各表面状態の2次元バンド分散を決定した。各表面電子構造を比較した結果、Si(001)2x3-Ag 表面と Si(001)c(6x2)-Ag 表面の Fermi 準位近傍での表面電子構造は周期差があるものの類似性が見られ、また両表面において Si(001)2x1 清浄表面の Si ダイマ・に起因する表面状態の消失が確認された。現在のところ、これら3つの秩序相に関する表面構造は決定していないため、各電子状態の正確な帰属は行えない。そこで論文提出者は他の半導体表面金属吸着層との比較から Fermi 準位近傍の電子状態は Si 再構成表面に起因するものと帰属し、このことから各表面の Si 再構成表面構造の知見を与えた。また電子数計算から Ag 被覆率を精密に求め、さらに Ag 4d 状態のバンド分散の異方性や ARPES 測定の直線偏光の入射角依存性などから Ag 原子配置に関する情報まで与えた。このように、本論文の Ag/Si(001)表面層の研究は表面電子構造に留まらず、表面構造まで議論が発展している。

第4章では、Si(001)表面上の Ag(111)エピタキシャル膜の成長モルフォロジ・とその量子井戸状態の研究を RHEED、LEED、STM、ARPES を用いて詳細に行った結果が述べられている。Si(001)2x1 表面上に 5ML 以上 Ag を低温 (<130 K) 蒸着し、その後 300~470 K に加熱すると

Ag(111)エピタキシャル膜が形成される。膜厚 30 ML までのエピタキシャル Ag 膜について、Fermi 準位直下に Ag(111)表面状態が、結合エネルギー0.3 ~3.0 eV で Ag 5s 起因のエネルギー分散状態が観測された。これら分散状態の結合エネルギー値は、標準的な量子井戸理論である位相シフト量子化則でよく再現されることが分かり、同時にエネルギー分散及び位相シフトのエネルギー依存性といったこの量子井戸状態の基本的な電子特性が明らかにされた。また、面内分散についてはこれまでに報告のない量子井戸状態の挙動、(1)量子井戸状態が、面内方向に異なる分散を持つ 2 つのサブバンドに分裂すること、(2)量子井戸状態の面内有効質量が結合エネルギーの減少と共に急激に増大すること、などが観測された。この新しい量子物性を詳細に調べた結果、Si(001)基板での量子井戸状態の波動関数の界面位相シフト変化で説明できることが示唆された。

第 5 章は結語であり、まず本論文によって初めて明らかにされた Ag/Si(001)系の表面電子構造についてまとめられている。そして Ag/Si(001)系を用いて初めて明らかにされた金属/半導体系の量子井戸状態という新しい系の基本電子特性及び新物性についてのまとめと今後の展望が述べられている。

以上、本論文では Ag/Si(001)表面層の電子構造を初めて明らかにしただけでなく、この系をモデルとして今まで研究例のない半導体表面上金属薄膜の量子井戸状態へと発展させ、その基本電子特性を詳細に明らかにし、さらに新物性を発見しその原因を理論的に考察している。また実空間と逆空間の結果を注意深く相補的につき合わせて得られた研究結果は今後の半導体表面上金属吸着系の基礎となることは間違なく、物質科学全般にとっても重要な成果と評価できる。

なお、本論文は H. W. Yeom 教授、谷川雄洋氏、登野健介氏、長尾忠昭氏、長谷川修司助教授、太田俊明教授との共同研究であるが、共同研究者はあくまで実験の手伝い及び意見という形で貢献したにすぎず、論文中の研究はまぎれもなく論文提出者本人の研究である。したがって審査員全員により、博士(理学)の学位を授与できると認める。