

# 論文審査の結果の要旨

氏名 守川春雲

本論文で報告されている研究は、角度分解光電子分光測定 (ARPES) と走査トンネル顕微鏡 (STM) 観察を用いて、金属が吸着した Si(111) および Ge(111) 表面の構造相転移と表面電子状態の関係を明らかにしたものである。半導体表面に金属を 1 原子層程度吸着させ熱処理を行なうと表面に秩序構造ができ、それが金属的な表面電子状態をもつ場合があることが知られている。本研究で取り上げた Si(111)-4x1In、Si(111)-3x3Sn(Pb)、および Ge(111)-3x3Sn(Pb) 表面も、そのような性質をもつ。このうち、Si(111)-3x3Sn 以外の表面では、試料を室温以下に冷却すると、Si(111)-8x2In、Si(111)-3x3Pb、および Ge(111)-3x3Sn(Pb) 表面へと周期構造が変化する。これまで、これらの構造相転移が電荷密度波状態への相転移である可能性が指摘されてきた。本研究は、各構造において表面原子配列を観察し、フェルミ面近傍の電子状態を測定することにより、相転移の機構について議論したものである。

本論文は 6 章から構成されている。第 1 章は序論であり、固体表面における電荷密度波相転移に関して、これまでの研究の流れが簡単に紹介されたのち、本研究の目的が述べられている。第 2 章では、電荷密度波形成にとって重要である一次元および二次元金属の Lindhard 応答関数についてまとめられている。第 3 章では、本研究に用いたいくつかの実験研究手法が述べられている。特に、3.5 では、本研究のために開発した角度分解光電子分光装置が詳細に記述されている。この新たな装置を用いてフェルミ面のマッピングをできるようにしたことが、第 5 章にまとめられている表面構造相転移に伴う電子状態変化を議論するために不可欠であった。第 4 章では、擬一次元表面電子状態をもつ Si(111)-4x1In 表面での ARPES 測定と STM 観察の結果が示されている。この系では、150K で 4x1 構造から 4x2 構造へ、120K で 4x2 構造から 8x2 構造への転移が観測される。100K における電子状態測定の結果は、室温で一次元方向に分散する 3 つの金属的なバンドのうち、フェルミ波数がブリュアン域境界値の半分であるバンドが、この波数で折り返し、エネルギーギャップが生じていることを示している。これは、8x2 への構造転移を電荷密度波転移とするモデルを支持している。一方、6K における STM 観察からは、試料バイアス依存性

が異なる二種類の電荷分布があることが明らかとなった。また、二倍周期の電荷分布をもつ次元鎖には位相境界の存在が確認され、その広がりと移動の観察結果を、整合度 2 の電荷密度波に予想されているソリトンの理論と比較した。第 5 章では、Si(Ge)(111)- $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ Sn(Pb)表面の ARPES 測定、電気伝導測定、STM 観察およびトンネル分光の結果が示されている。Si(Ge)(111)- $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ Pb と Ge(111)- $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ Sn 表面は、室温でも  $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$  低温相でも共通して金属的であり、フェルミ面は  $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$  周期に従っていることが明らかとなった。このことから、観測された  $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$  から  $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$  への転移は電荷密度波転移ではないと結論し、秩序 - 無秩序転移である可能性を指摘した。残る Si(111)- $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ Sn 表面は 6 K まで冷却しても  $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$  構造になることがない。しかし、ARPES 測定により観測されたフェルミ面は室温でも  $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$  対称性を示すので、他の 3 種の表面と同じように秩序 - 無秩序転移があることを予想した。第 6 章は本研究のまとめにあてられている。

審査委員会は、これらの研究において超高真空中の実験が計画的かつ十分注意深く行なわれ、その解析及び考察が適切な手法でなされていると判断した。本論文によって、表面超構造相転移の機構を理解するために重要である電子状態の波数および空間依存性が明確となった。特に、Si(111)- $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ In 表面低温相のフェルミエネルギーにおけるギャップ形成と電荷密度波の位相境界の運動、Si(Ge)(111)- $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ Pb(Sn)表面におけるフェルミ面の  $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$  周期性が明らかになったことは、この分野の研究にとってたいへん大きな意義がある。これらの研究を基礎として、今後表面超構造相転移の研究がさらに発展していくと期待できる。

本研究は、長谷川助教授（指導教官）および松田助手との共同研究となる部分を含むが、著者が研究計画から実験及び解析・考察のすべての段階で主導的な役割を果たしており、主体的寄与があったものと判断する。したがって、博士（理学）の学位を授与できると認める。