

歪み制御 Si の電子状態の測定 Measurement of Electric Structure of Strain Controlled Si layer

戸坂亜希*, 石井卓也, 重田諭吉
横浜市立大学, 〒236-0027 横浜市金沢区瀬戸 22-2
Aki Tosaka*, Takuya Ishii, and Yukichi Shigeta
Yokohama City University, 22-2 Seto, Kanazawa-ku, Yokohama, 236-0027, Japan

1 はじめに

歪みシリコンは、その電気的特性の改善へのポテンシャルから、広く研究されている。我々は歪みの量と電子状態の変化を直接観察できる表面を対象に、歪みを導入した Si や Ge の表面に形成した $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ -Ag 構造について、歪みが表面自由電子ガス (2DEG) へどのように影響するのかについて角度分解光電子分光法 (ARPES) を用いて研究を行ってきた [1,2]。

歪みの導入には、Ge と Si の格子定数の差を利用した。Ge は Si より格子定数が約 4% 大きいために、Si(111) 表面上に Ge をエピタキシャル成長させると、圧縮歪みを含む Ge 層が形成できる。以前に報告したように、我々は、圧縮歪みによって 2DEG の S_1 状態の有効質量 m^* が軽くなり、また逆に、延伸歪みを与えると m^* が重くなることを見いだした [1,2]。Si(111) 表面上に 1 層の Ge を成長した時の圧縮歪みは 2.7% で、 m^* の減少は 30% であった。一方 Ge(111) 表面上の Si 層には 2.1% の延伸歪みが導入され、 m^* の増加は 33% であった。この m^* の歪みへの依存性は大変興味深く、その関係をさらに解明するために、我々は中間的な歪み量をもつ表面を形成し、その m^* を計測したいと考えた。

2 実験

中間的な歪みを作り出すために、Si/Ge/Si(111)- $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ -Ag の系を作製した。まず、Si(111) に Ge 薄膜を成膜し、歪みを導入した Ge 層を作製する。そこに Si 層を 1 層 (BL) 蒸着すると、この Si は、バルク Ge(111) 表面上に蒸着した時に比べ、歪み量が小さいと期待される。ここに Ag を 1 原子層蒸着し、 $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ -Ag 構造を形成した後、ARPES によって電子状態の測定を行った。また、それぞれの成膜後の構造は、低速電子線回折法 (LEED) で確認した。電子状態を観察するためには、原子的に平坦な試料の作製が不可欠だが、Si 表面上に成長する Ge は S-K 成長モードをとる。またアニール温度などが高い場合、ミキシングも起きる。そこで、適切な蒸着膜の厚さとアニール温度について、事前に走査型トンネル顕微鏡と分子間力顕微鏡を用いて条件探査を行った。

ARPES 測定の試料の成膜は、PF 18-A のプリパレーションチャンバ内で行った。

3 結果および考察

清浄 Si(111) 表面に 2 BL の Ge を室温で蒸着後 630°C でアニールしたところ、 5×5 LEED パターンを得た。その上に 1BL の Si を蒸着し、450°C でアニールを行った。このとき表面は 1×1 パターンを示した。最後に Ag を 1 原子層蒸着し、450°C でアニールを行い、 $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ LEED 像を確認した。完成した Si/Ge/Si(111)- $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ -Ag 表面の 2DEG の S_1 ピークを ARPES により観察した結果、不明瞭な S_1 ピークではあるが、分散の極値から Γ_1 点を決め、表面に 1.8 ± 0.4 % の延伸歪みが導入されていることがわかった。これは、Ge(111) 表面上の 1BL の Si の歪みにくらべて、期待通り小さなものとなった。さらに m^* について解析をおこなったところ、 m^* と歪み量が線形関係でないという可能性が生じた。

4 まとめ

Si/Ge/Si(111)- $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ -Ag 系を作製し、歪み量を制御した Si 層の歪み量と有効質量の関係を調べた。ARPES の測定は不明瞭なものだったが、その測定によると、系の歪みは 1.8 ± 0.4 % であり、また、 m^* と歪み量が線形関係でないという可能性が生じた。

謝辞 本研究の一部は JSPS 科研費 24560031 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] Izumi Mochizuki et al., J. Appl. Phys. 106, 013709 (2009)
- [2] Izumi Mochizuki et al., J. Appl. Phys. 107, 084317 (2010)

成果 (オブション)

1 石井卓也, 戸坂亜希, 重田諭吉, “歪み制御 Si(111)- $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ -Ag 表面上の金属状態” (口頭発表) 第 61 回応用物理学会春季学術講演会、20a-F7-9、青山学院大学 (相模原キャンパス)、2014 年 3 月 20 日

* a_tosaka@yokohama-cu.ac.jp