

論文内容の要旨

博士論文題目 Study of surface vibration anisotropy by RHEED-DW method
(RHEED-DW 法による表面原子振動の異方性の研究)

氏 名 橋本 美絵

(論文内容の要旨)

反射高速電子回折パターンには、X 線回折や低速電子回折よりも多くの (h, k, l) スポットが存在するため、広い角度範囲で多くの情報が得られ、振動の異方性の解析には好都合である。また反射高速電子回折では、高速電子の入射方向を結晶の対称面からずらした方向とすることにより、動力学的回折効果を小さくすることができる(一波条件)ため、解析も簡単である。一つの反射高速電子回折スポット強度の温度依存性からその角度での Debye-Waller 因子を導くことができる。数多くのスポットを解析することにより Debye-Waller 因子の角度依存性がわかり、これが表面原子振動振幅の角度依存性となる。この原子振動振幅を表面垂直方向と表面平行方向とに分解することによって、表面原子の振動の異方性が求められる。本論文ではこのようにして新しく開発した解析法を、RHEED スポットについての Debye-Waller 因子の解析から表面原子振動の異方性について調べるため RHEED-DW 法と名づけた。Si (111) $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ -Ga 表面の 300 K における Ga 原子の振動振幅の異方性を調べた結果、表面垂直方向の振動振幅は 0.14 Å、表面平行方向の振動振幅は 0.07 Å であった。このことより、Ga 原子は表面垂直方向に 2 倍も大きく振動していることがわかった。同様にして Si (111) $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ -In 表面の In 原子の振動振幅を測定した結果、表面垂直方向は 0.12 Å、表面平行方向は 0.10 Å であった。In 原子は、Ga 原子とは異なり等方的に近く振動していた。同じ group-III 金属で同じ T_4 サイトに吸着する原子でも、振動振幅の異方性が異なることがわかった。Si (111) $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ -Ag 表面の原子振動の異方性についても調べた結果 300 K における Ag 原子の表面垂直方向は 0.11 Å、表面平行方向は 0.21 Å であった。表面平行方向については、他の実験結果と良い一致を示し、はじめて表面垂直方向の振動振幅を得ることができた。また、表面平行方向の振動振幅の異方性を考慮して見積ると面内方向の振動振幅は 0.28 Å となり、Ag 原子は表面垂直方向よりも面内方向に 2.5 倍ほど大きく振動していることが判明した。反射高速電子回折パターン中の各スポット強度の温度依存性を測定したところ、Ga や In 原子のときとは異なり 150 K を境にしてスポット強度がほぼ一定になった。このことより転移温度を 150 K と判断した。本論文では新しく開発した RHEED-DW 法を用いて、様々な表面原子の振動振幅の異方性について調べた。その結果、表面垂直方向の振動振幅と表面平行方向の振動振幅が得られるだけでなく、RHEED スポット強度の温度依存性から構造転移温度やその起源についても研究することができた。

以上のように、表面原子振動振幅の異方性の研究手法をあらたに開発し、いくつかの興味ある系に応用した。その結果、同じ III 族原子でも異方性が異なることが明らかになり、また、構造転移における重要な知見を得た。これらは表面の原子運動の研究に大きな寄与をすることが期待できる。

(論文審査結果の要旨)

本論文は、反射高速電子回折パターンにおける広い角度範囲での多くの (h, k, l) スポット強度の温度依存性から、表面原子振動振幅の異方性を解析する手法を開発したものである。反射高速電子回折では、高速電子の入射方向を結晶の対称面からずらした方向とすることにより、動力的回折効果を小さくすることができる(一波条件)ため、解析も簡単である。一つの反射高速電子回折スポット強度の温度依存性からその角度での Debye-Waller 因子を導くことができ、数多くのスポットを解析することにより Debye-Waller 因子の角度依存性がわかり、これが表面原子振動振幅の角度依存性となる。この原子振動振幅を表面垂直方向と表面平行方向とに分解することによって、表面原子の振動の異方性が求められる。本論文ではこのようにして新しく開発した解析法を、RHEED-DW 法と名づけた。

Si(111) $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ -Ga 表面の 300K における Ga 原子の振動振幅の異方性を調べた結果、表面垂直方向の振動振幅(u_z)は 0.14Å、表面平行方向の振動振幅(u_x)は 0.07Å であった。このことより、Ga 原子は表面垂直方向に 2 倍も大きく振動していることがわかった。同様に Si(111) $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ -In 表面の In 原子の振動振幅を測定した結果、 u_z は 0.12Å、 u_x は 0.10Å であった。In 原子は、Ga 原子とは異なり等方的に近く振動していた。同じ group-III 金属で同じ T₄ サイトに吸着する原子でも、振動振幅の異方性が異なることがわかり、Keating モデルで定性的に説明することに成功した。

Si(111) $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ -Ag 表面の原子振動の異方性について調べた結果、300K における Ag 原子の u_z は 0.11Å、 u_x は 0.21Å であった。 u_x については、他の実験結果と良い一致を示し、はじめて表面垂直方向の振動振幅を得ることができた。また、表面平行方向の振動振幅の異方性を考慮して見積ると面内方向の振動振幅 u_θ は 0.28Å となり、Ag 原子は表面垂直方向よりも面内方向に 2.5 倍ほど大きく振動していることが判明した。各スポット強度の温度依存性は、Ga や In 原子のときとは異なり 150K を境にしてスポット強度がほぼ一定になった。このことより 150K で振動が止まっていることが示され、構造転移温度を 150K と判断した。

本論文では、新しく開発した RHEED-DW 法を用いて様々な表面原子の振動振幅の異方性について調べ、表面垂直方向の振動振幅(u_z)と表面平行方向の振動振幅(u_x)が得られるだけでなく、構造転移の起源についても研究することができることを示した。本論文により表面原子運動の簡便な解析法が開発されたため、表面動力学の新しい分野が開けることが期待される。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のあるものと認め、審査結果を合格とした。