

6. Si (111) 面上に Ge を吸着した時の表面超構造と相転移の研究

福谷克之

Si と Ge はどちらも IV 族の元素で、結晶においてダイヤモンド構造をとる半導体である。また清浄表面においては Si (111) 面は 7×7 構造、Ge (111) 面は 2×8 構造という単位メッシュの大きな超格子構造が現れることが以前から知られており、さらにこの表面に他種原子を吸着させると、その構造が複雑に変化するため、現在も広く研究の対象となっている。こうしたことから両者の吸着系の研究は興味深く、新たな情報が得られると期待される。そこで本研究では、Si (111) 面上に Ge を吸着させた系について、反射高速電子回折 (RHEED) を用いて以下の 3 点の研究を行った。

- (1) 表面超構造とその相転移の観察
- (2) Si 上に成長した Ge 層における Si, Ge の合金化の測定
- (3) 3 種の 7×7 構造の解析

(1) RHEED による表面超構造とその相転移の観察

Si (111) 面上に下地温度を約 500°C に保って Ge を吸着させていくと、吸着量に応じて表 1 のように表面構造が変化した。即ち、Ge の吸着量を θ で表すと、 $0 < \theta < 0.7$ 層では 7×7 構造が見られるが、 $0.7 < \theta < 1.7$ 層では 5×5 構造と 7×7 構造の両方が観察され、 $\theta > 1.7$ 層では 5×5 構造のみに変わる。吸着量が増加して $\theta \sim 10$ 層となると再び 7×7 構造が現れて 5×5 構造と共存し、 θ がおよそ 50 層を越えると 5×5 構造は消えて 7×7 構造のみになる。更に吸着量を増やすと、 $\theta \sim$ 数 100 層で Ge (111) 清浄表面に見られる $c(2 \times 8)$ 構造が観察される。ここで吸着量がおおよそ 10 層以上のときに観察される 7×7 構造の格子定数を測定すると Si よりも約 3% 大きくなっていることが分かった。Ge の結晶の格子定数は Si に比べて 4% 大

表 1

	吸着量 (ML)	超構造
A	0	7×7
B	$0 - 0.7$	7×7
C	$0.7 - 1.7$	$7 \times 7 + 5 \times 5$
D	$1.7 \sim 10$	5×5
E	$\sim 10 \sim 50$	$7 \times 7 + 5 \times 5$
F	~ 50 以上	7×7
G	数 100	$c(2 \times 8)$

きいためこの 7×7 構造は両者の中間の大きさを持つ格子に基いた超構造になる。この格子定数の変化を考慮して歪の概念を用いると表に示したような構造の変化は統一的に理解することができる。また吸着量が4層以下の場合については、横軸に下地温度、縦軸に吸着量を取ってそのときに現れる超構造を図に表し、2次元的な構造の変化図を作成した。吸着量がこの領域では 7×7 構造か 5×5 構造が観察されるがどちらの構造もある温度で 1×1 構造へ可逆的に相転移する。その相転移温度はGeの吸着量に依存し、 7×7 構造の場合吸着量の増加と共に上昇し、 5×5 構造の場合は逆に低下することが分かった。

(2) Si上に成長したGe層におけるSi, Geの合金化の測定

Si上にGeを成長させ、その後温度を上げていくと両者が混合して合金を作ることが予想される。(1)の結果でSi上に約50層のGeを成長させると成長したGe層の格子定数が変化することが分かっているため、この変化の様子を測定して合金化の様子を調べた。更に表面の元素分析に有効なRHEED励起X線全反射角分光(RHEED-TRAXS)法を利用してSi上に成長させたGe層における組成の変化を調べた。初めにGeを成長させる際の下地温度を変化させて測定を行った。下地温度が 480°C の時Ge層の格子定数はSiに比べて3.2%大きく、下地温度が上昇するにつれこの格子定数のずれは小さくなり、 640°C の時は2.2%となった。このときRHEED-TRAXS法によりX線スペクトルを測定すると、成長時の下地温度が高くなると、 GeK_α 特性X線の強度は変化しないのに対し SiK_α 線の強度が増大することが分かった(図1)。次にこの様にしてGeを成長させた試料をアニールすると、アニール温度が上昇するにつれてGe層の格子定数は徐々に小さくなり $700 \sim 750^\circ\text{C}$ にするとほぼSiの格子定数に一致する様子が観察された。この時X線スペクトルの測定を行うとアニール温度が上昇するにつれて GeK_α 線の強度は余り変化しないが SiK_α 線の強度が増大することが確かめられた。これらの結果からGeをSi上に成長させるときの下地温度或は成長後のアニールの温度が上昇すると、SiとGeの合金化が進み合金層におけるSiの量が増大すると考えられる。

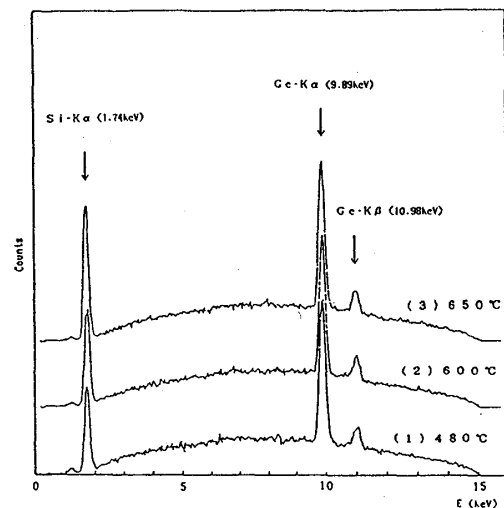


図 1

(3) 3種の 7×7 構造の解析

Si(111)面上にGeを吸着させると表1に示したように吸着量 θ が $\theta < 0.7$ 層の場合(Si(111)-Geと表す)と $\theta =$ 約50層の場合(Ge(111)と表す)とにそれぞれ異なる $7 \times$

7 構造が観察される。Ge と Si 原子の類似性を考えると、この 2 種類の 7×7 構造及び Si (111) 清浄表面の 7×7 構造には何等かの関連があると予想される。そこでこの 3 つの構造について RHEED 図形の写真撮影及び逆格子ロッドの強度測定を行い、比較検討を行った。3 つの構造について条件を変えて RHEED 図形を写真に取り、超格子スポット同士の相対的な強度を比較すると、3 つとも非常によく似ていることがわかった。大きな違いは、Ge が吸着した 2 種の 7×7 構造はその超格子スポットの強度が清浄表面に比べて強いと言う点であるが、これは Si と Ge の原子散乱因子の違いとして理解できる。逆格子ロッドの測定結果の 1 例を図 2 に示す。これを見ると Si (111) と Si (111) - Ge の 2 つはその強度分布が非常によく

にており、RHEED 図形の観察結果も考えると 2 つの構造がほぼ同一の原子配列構造をしていると考えられる。一方 Ge (111) は他の 2 つとは異なった強度分布をしているように思われるが、ピークがブロードになっている点を除くと、他の 2 つの強度分布におけるピークに対応してやや低角側にピークが存在することが分かる。他のロッドの結果を比較しても同様な傾向がみられる。ピークが低角側にずれているということは Ge (111) 7×7 構造の格子定数が他の 2 つに比べて大きくなっていることを示し

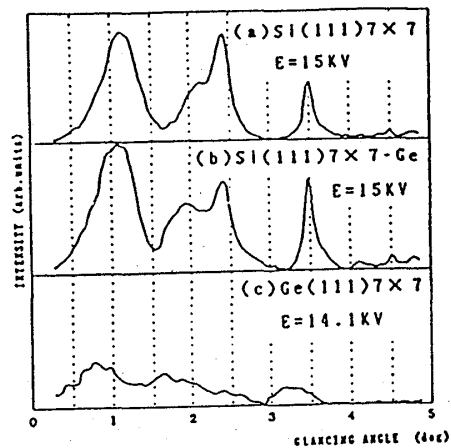


図 2

ていると思われる。またこの様な強度をロッドに沿った方向に平均し、ロッド同士の強度関係を比較すると 3 つの構造ともよく似た分布を示すことが分かった。

これらのことから 3 つの 7×7 構造はほぼ同じ原子配列をしていると考えられるが、更に詳しく検討中である。

7. 電子線励起 X 線全反射角分光法による Si, Ge 表面の吸着過程と構造の研究

松 本 裕 敦

我々の研究室では以前から RHEED 条件下で励起される特性 X 線を検出する際に、取り出し角を $0^\circ - 3^\circ$ という小さな角度にして測定をすすめてきた。そこで吸着原子および基板原子から励起される個々の特性 X 線の強度の取り出し角依存性は各々の X 線の下地に対する全反射