



Title	(Si, Ge)(111)表面におけるPbアドアトムの原子間力顕微鏡による研究
Author(s)	大儀, 彰裕
Citation	大阪大学, 2008, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/48685">https://hdl.handle.net/11094/48685</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉</a> 大阪大学の博士論文について <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈/a〉</a> をご参照ください。

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏名	お 大 いそ 儀 あき 彰 ひろ 裕
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学位記番号	第 22058 号
学位授与年月日	平成 20 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科電気電子情報工学専攻
学位論文名	(Si, Ge) (111) 表面における Pb アドアトムの原子間力顕微鏡による研究
論文審査委員	(主査) 教 授 森田 清三  (副査) 教 授 伊藤 利道 教 授 森 勇介 教 授 片山 光浩 教 授 杉野 隆 教 授 尾崎 雅則 教 授 栖原 敏明 教 授 近藤 正彦 教 授 谷口 研二 教 授 八木 哲也 准教授 阿部 真之

### 論 文 内 容 の 要 旨

本研究では、プローブ顕微鏡によるナノ工学において、モデル系として活発に研究が行われている Pb/(Si, Ge)(111) 表面の研究を、非接触原子間力顕微鏡 (NC-AFM) を用いて行い、主に以下の 2 つの成果を得た。

1. Pb/Si(111)-( $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ ) モザイクフェーズ表面における周辺原子種効果の発見と考察。
2. Pb/Ge(111)-c(2×8) 表面における NC-AFM 探針誘起の指向性拡散の発見と、それに基づいた Pb 原子の元素分離、局所再構成のモデル実験の実行。

上記 1 においては、Pb/Si(111)-( $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ ) モザイクフェーズ表面において「第一近接の位置にある Si アドアトムの個数の増加とともに、Si アドアトムの相対的高さは増加するが、逆に、Pb アドアトムの相対的高さは減少する」という周辺原子種効果が判明した。又、探針-試料間距離を変えた凹凸像測定から、周辺原子種効果が探針-試料間距離に拠らない現象であることを明らかにした。さらに、これらの結果を電荷移動や結合次数の概念等から定性的に説明した。この結果は、表面内のわずかな元素分布の偏りが大きな物性変化を誘起することを示唆する。

上記 2 においては、Pb/Ge(111)-c(2×8) 表面において、「探針-試料間距離が近い擬似接触の状態でラスタースキャンする」という極めて単純な方法によって、この表面内の Pb 原子のみに選択的に指向性を持った拡散を誘起させられることを発見した。今回発見した手法は、表面内の異種原子（この場合は Pb 原子）の濃度をナノスケールでコントロールできる。実際、Pb 原子のみを Pb/Ge(111)-c(2×8) 表面上の数 nm<sup>2</sup> 程度の微小な領域に分離、析出させ、密集させることに成功した。また、この手法によって Pb 原子を析出させた領域が、周囲とは異なる対称性をもつ Pb/Ge(111)-(2×2) 表面に構造相転移することを確認した。また、この現象が、Pb/Ge(111)-c(2×8) 表面の熱拡散バリアハイトの低さと関係することを指摘し、他の系においても、表面を適切な温度で加熱しながらラスタースキャンを行うことで、同様の実験が可能であると見込まれると提案した。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、(Si, Ge)(111) 表面における Pb アドアトムの原子間力顕微鏡による研究の成果をまとめたものである。本論文は、以下の6章から構成されている。

第1章は序論であり、本研究全体の研究背景を述べ、また、走査型トンネル顕微鏡 (STM) と原子間力顕微鏡 (AFM) について説明し、(Si, Ge)(111) 表面における AFM による個々の原子の観察・識別・原子操作に関する本研究の目的と課題を明らかにしている。

第2章では、本研究で用いた非接触原子間力顕微鏡 (NC-AFM) に関連して、超高真空・室温原子間力顕微鏡システム、AFM テコの構造、AFM テコ (カンチレバー) の機械的共振周波数の探針-試料間相互作用による変化 (周波数シフト) の機構、周波数変調 (FM) 検出方式を用いた周波数シフトの検出原理、NC-AFM による凹凸像の測定原理及び凹凸像測定時の装置構成、接触電位差測定方法など NC-AFM の測定原理と測定方法について明らかにしている。

第3章では、Pb 原子の蒸着量による Pb/Si(111) 表面の構造変化と試料作成方法について説明して、Pb/Si(111)- $(\sqrt{3} \times \sqrt{3})-\alpha$  相領域と Pb/Si(111)-(1×1) 領域の NC-AFM 観察と、相境界の凹凸像や接触電位差測定および原子分解能凹凸像測定の実験結果を報告して主要な構造モデルと比較検討している。

第4章では、最初に、STM や理論計算による Sn/Si(111)- $(\sqrt{3} \times \sqrt{3})-\alpha$  相領域などでのケミカル・コントラスト (異種元素間の凹凸差) への周辺原子種による化学配位効果について先行研究を紹介している。つぎに、NC-AFM による異種原子混在系試料表面の原子分解能凹凸像測定における、ケミカル・コントラスト (異種元素間の凹凸差) への周辺原子種による化学配位効果について、Sn/Si(111)- $(\sqrt{3} \times \sqrt{3})$  モザイク相表面での実験例を紹介して、Pb/Si(111)- $(\sqrt{3} \times \sqrt{3})$  モザイク相表面での比較実験の必要性を明らかにしている。さらに、Pb/Si(111)- $(\sqrt{3} \times \sqrt{3})$  表面での周辺原子種による化学配位効果について詳細な実験を行い、Pb と Sn では周辺原子種による化学配位効果が異なることを明らかにして、その機構について検討を行っている。また、周辺原子種による化学配位効果の定性的な傾向は、探針-試料間距離に依存せず、探針-試料間相互作用による個々の原子の表面緩和の影響が定性的に無視できることも明らかにしている。

第5章では、異種原子交換型水平原子操作と Ge(111) 表面の構造モデル、および、Pb 原子の被覆率変化による Ge(111) 表面の構造変化と試料作成方法について説明して、つぎに、Pb/Ge(111)-c(2×8) 表面における室温での異種原子交換型水平原子操作による集団原子操作と高速の選択的要素移動の可能性を述べている。さらに、Pb/Ge(111)-c(2×8) 表面上における室温での異種原子交換型水平原子操作で集団原子操作による高速の選択的要素移動の実験に成功して、その結果、局所的な表面再構成の人工的な誘起にも成功したことを報告している。

第6章の結論では得られた成果を総括し、今後の課題と将来展望について述べている。

以上のように、本論文は、Pb/Si(111)相分離表面の構造や相境界の研究、Pb/Si(111)混在表面のケミカル・コントラスト (異種元素間の凹凸差) への周辺原子種による化学配位効果の研究、Pb/Ge(111)-c(2×8) 混在表面上における室温での異種原子交換型水平原子操作による集団原子操作と高速の選択的要素移動の研究のように、Pb/(Si, Ge)(111) 表面における Pb アドアトムの超高真空・室温原子間力顕微鏡による研究であり、Si(111) や Ge(111) 表面のような半導体表面における Pb アドアトムの超高真空・室温原子間力顕微鏡による観察・評価・識別・原子操作で多くの新しい知見をもたらした価値ある研究で半導体表面における研究に重要な貢献をなすものであり、電気電子情報工学に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。