

Title	直衝突イオン散乱分光による半導体表面構造とその動的変化の解析
Author(s)	片山, 光浩
Citation	
Issue Date	
Text Version	ETD
URL	<a href="https://doi.org/10.11501/3098891">https://doi.org/10.11501/3098891</a>
DOI	10.11501/3098891
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

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

Osaka University

氏 名	片 山 光 浩
博士の専攻分野の名称	博 士 ( 工 学 )
学 位 記 番 号	第 1 1 5 9 3 号
学 位 授 与 年 月 日	平 成 6 年 1 1 月 2 5 日
学 位 授 与 の 要 件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学 位 論 文 名	直衝突イオン散乱分光による半導体表面構造とその動的変化の解析
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 尾 浦 憲 治 郎  教 授 濱 口 智 尋    教 授 吉 野 勝 美    教 授 西 原 浩

## 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、直衝突イオン散乱分光 (Impact - Collision Ion Scattering Spectroscopy, 略して ICISS) による半導体表面構造とその動的変化に関する研究をまとめたものであり、9章から構成されている。

第1章では、半導体表面構造に関する研究の背景と表面解析手法の発展を概説すると共に、半導体表面構造の動的変化を研究する必要性を述べ、このための解析手法として ICISS 法をとりあげ、これをさらに発展させた同軸型直衝突イオン散乱分光 (Coaxial Impact - Collision Ion Scattering Spectroscopy, 略して CAICISS) 法を提唱しており、この手法を半導体表面構造とその動的変化の研究に適用した結果の概要と意義について述べ、各研究対象間の関連を示している。

第2章では、低速イオン散乱分光 (Ion Scattering Spectroscopy, 略して ISS) による表面構造解析の現状と基本事項および従来の ISS のいくつかの問題点を整理し、実験の散乱角を  $180^\circ$  にとった完全な ICISS 条件が表面構造解析の定量性を向上させるために不可欠であること、また表面構造の動的変化の解析やイオンの中性化の積極的利用にとっても有利であることを指摘し、表面構造とその動的変化を直接的に解析しうる新しい ICISS 法の開発が必要であることを示している。本論文において提唱した CAICISS の手法は、従来の ISS や ICISS に比べて多くの興味深い特徴を持っており、これらの特徴を整理し、表面研究における有効性を示している。

第3章では、新しく開発した CAICISS の装置と実験方法について述べている。また、分子線エピタキシー (MBE) 装置と CAICISS の装置とを組み合わせることにより、薄膜成長の自動制御を行う新しい制御システム (CAICISS モニター・膜成長自動制御装置) を開発しており、その性能を明らかにしている。

第4章では、金属-半導体初期界面構造として Si (111)  $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$  R30° - Au 表面 ( $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$  - Au 表面) と Si (111)  $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$  R30° - Ag 表面 ( $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$  - Ag 表面) の構造をアルカリイオンを用いた ICISS (ALICISS) および CACISS によって解析し、その構造モデルを提唱している。

第5章では、CAICISS を、絶縁体-半導体界面である  $\text{CaF}_2/\text{Si}$  (111) 界面の構造解析に応用した結果について示している。Si (111) 表面に単分子層の  $\text{CaF}_2$  を成長させた際、表面には  $\text{CaF}$  の組成をもつ単分子層が形成されるこ

とを見だし、単層の CaF の層間隔、Ca原子の下地の Si 原子に対する位置を決定している。また、CaF<sub>2</sub>がより厚く成長する場合、CaF<sub>2</sub>/Si (111) 界面において、バルクの CaF<sub>2</sub>と異なる構造を持つ化合物が形成されることを見だし、この構造を解析した結果、この化合物が、電子線照射による F 原子の脱離によって形成された CaSi<sub>2</sub>であることを明らかにしている。

第6章では、Ⅲ-V族半導体表面の構造として、S によって不動化された InAs (001) 表面の構造を解析した結果について示している。整列軸方向での CAICISS スペクトルを解析した結果から、表面第1層と第3層の As 原子の約70%が S 原子によって置換されており、S および As 原子はダイマーを形成していることを明らかにしている。

第7章では、金属-半導体初期界面上の表面動的過程として、 $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ -Au および $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ -Ag 表面を基板表面として採用し、Si (111) 上の Ag の島状成長過程、 $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ -Au および $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ -Ag 表面上の原子状水素の吸着・脱離過程、および Ge のヘテロエピタキシャル成長初期過程をとりあげ、これらの表面動的過程のリアルタイム観察を行った結果について示している。Si (111) 表面上の Ag の島状成長過程の研究においては、Ag の島の成長の様式は低温領域と高温領域とでまったく異なることを詳細に解析している。原子状水素の吸着・脱離過程の研究においては、水素吸着に伴う Ag および Au 原子の挙動は非常に異なっており、 $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ -Ag 表面の場合には水素吸着によって、Ag 原子はクラスターを形成するのに対して、 $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ -Au 表面の場合には Au 原子はクラスターを形成せず無秩序に配列した2次元構造をとること、加熱による吸着水素の脱離により両表面とも元の $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ 構造に回復することを明らかにしている。Ge のヘテロエピタキシャル成長初期過程の研究においては、Ge 成長中の金属原子の表面偏折、Si と Ge の合金化を見だし、基板温度 700 °Cでは、Ge の成長モードが $\sqrt{3}\times\sqrt{3}$ 吸着層の存在によって層状成長モードに変わることを明らかにしている。

第8章では、半導体表面上では薄膜成長過程として GaAs (001) 表面上の AlAs のエピタキシャル成長過程、および Si (001) 表面上の Ge のサーファクタント媒介エピタキシャル成長過程をとりあげている。GaAs (001) 表面上の AlAs のエピタキシャル成長過程の研究においては、イオンの入射方向をある条件に選んだ場合、スペクトルピークの鋭さが薄膜結晶の構造完全性の尺度として評価できることを示している。Si (001) 表面上の Ge のサーファクタント媒介エピタキシャル成長過程の研究においては、CAICISS モニター・膜成長自動制御装置を適用することにより、Ge の成長中常に表面偏折する Sb の量を様々な一定量に保つように MBE 装置の蒸発源のシャッターを自動制御しながら、Ge の成長を実時間で観察しており、サーファクタントとしての Sb の量が多いほど、Ge と Si との合金化が抑制され、より急峻な界面が得られ、かつ結晶性のよい Ge 成長膜が得られることを見だししている。

第9章では、本研究において得られた結果を総括して、CAICISS 法を半導体表面構造とその動的変化の解析に応用した結果のまとめを行い、CAICISS 法が表面・界面の科学と技術の広範な分野において極めて有力な方法となりうることを展望している。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、半導体表面の構造とその動的変化を直接的に解析しうる新手法を確立するとともに、それをを用いていくつかの半導体表面の構造とその動的変化を解析することを目的としておこなった研究をまとめたもので、主な成果をあげると以下の通りである。

- (1) 直衝突イオン散乱分光 (ICISS) において、表面構造解析の定量性をさらに向上させるとともに、表面構造の動的変化のリアルタイムでのその場観察およびイオンの中性化を積極的に利用するための、新しい ICISS 法-同軸型直衝突イオン散乱分光 (CAICISS) 法-の開発に成功している。
- (2) (1) の手法を用いて、金属-半導体界面、絶縁体-半導体界面、および硫化物処理されたⅢ-V族半導体表面の構造を解明している。特に、金属-半導体界面の構造解析の結果は、他の手法によって得られるほとんど全ての結果と合致しており、表面科学において長年の懸念であった半導体表面超構造を解明したという意味で有意義である。

- (3) (1) の手法を用いて、金属-半導体界面上での原子吸着過程を実時間で観察し、その表面動的過程を運動学的に解明している。特に、原子状水素の吸着・脱離過程の研究結果は、この手法が半導体表面の最外層の構造と組成の動的変化を直接的に実時間観察する有効な手法であることを示している。
- (4) (1) の手法を半導体表面の薄膜成長のモニター法として応用することを試みており、このモニター法と分子線エピタキシーの制御装置とを組み合わせることにより、半導体基板上での薄膜成長を自動制御する可能性を明らかにしている。

以上のように本論文は、半導体表面構造とその動的変化を直接的に解析しうる新手法の確立、およびその手法のいくつかの半導体表面構造の解明とその動的過程の実時間解析への適用に成功し、さらに、その手法による半導体基板上での薄膜成長の自動制御の可能性を示している。これらの成果は半導体工学の基礎研究に大きな寄与をなし、電子工学の発展に貢献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。