

氏 名	ふじ 藤 居 よし 義 かず 和
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学位記番号	工 博 第 1330 号
学位授与の日付	平 成 5 年 11 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	工 学 研 究 科 物 理 工 学 専 攻
学位論文題目	STUDY ON ION BDAM INTERACTIONS WITH CRYSTAL SURFACES (イオンビーム・結晶表面相互作用の研究) (主 査)
論文調査委員	教 授 万 波 通 彦 教 授 藤 本 孝 教 授 今 西 信 嗣

論 文 内 容 の 要 旨

本研究は高速イオンを清浄結晶表面に小角で入射し、反射散乱されたイオンの計測をもとに、MeV 軽イオンの超高真空中の単結晶表面での散乱における基礎過程の研究、及びこの表面斜入射散乱を利用した表面評価法の研究をまとめたもので、序章と 8 章から構成されている。

第 1 章序論では、高速イオン・表面相互作用研究の重要性を述べ、本研究の位置付け、概要を述べている。

第 2 章は、本研究を行うにあたって用いた実験装置の概要、試料単結晶表面の製作についてのものである。研究を行うために開発した試料結晶の角度、位置を高精度で制御する超高真空用ゴニオメーター、散乱イオンのエネルギー及び荷電状態測定する為の分析器を中心に、実験装置の概要を説明し、又、超高真空中でエピタキシ成長による清浄表面の製作について述べている。

第 3 章では、本研究の研究手法である結晶表面における高速イオンの斜入射散乱の基礎について述べている。その特徴として、原子的に平坦な結晶の低指数表面では、イオンは固体内に入ることなく表面で鏡面散乱され、イオンと表面の相互作用は明確に定まったイオン軌道に沿って起こる。また、表面に対するイオンの入射角を 0.5 度以下で適当に選べば、イオンと表面原子間距離を 0.1 nm 以下で制御することができる等、イオン表面斜入射散乱がイオン・表面相互作用研究の有力な手段となり得ることを主張している。

第 4 章は、斜入射散乱イオンのエネルギー損失についての研究である。斜入射散乱したイオンのエネルギースペクトルは数個の極大をもち、最もエネルギー損失の少ないイオンは表面内に入ることなく散乱されたイオンであり、それ以外のエネルギー損失の大きいイオンは表面のステップから結晶内に入りステップから再び結晶外に出てきたイオンであることを明らかにした。結晶内に入ることなく散乱されたイオンのエネルギー損失の入射角度依存性の測定から、イオン・表面間の散乱ポテンシャルを利用して表面からの距離に依存する阻止能を求める一般的方法を提案した。この方法をテルル化錫 (SnTe) (100) 表面の

MeV 軽イオンについて適用し、求めた距離に依存する阻止能がイオン・電子の 2 体衝突と表面価電子の集団運動励起の二つの原因によることを示した。

第 5 章では、SnTe (100) 表面で 0.7 MeVHe⁺ イオンの表面軸チャネリングが起こるときの散乱イオンのエネルギー損失の研究結果がまとめられている。表面に平行な結晶軸に沿ってイオンが反射される時(表面軸チャネリング)、鏡面反射方向に散乱されるイオンのエネルギースペクトルは原子軸方向により異なる。いくつかの軸チャネリングにおいて、散乱 He イオンのエネルギー損失を測定し、前章で提案した解析法を利用して、「原子軸からの距離に依存する阻止能」を求めた。イオンによる固体価電子の集団励起は軸方向と無関係に起こると仮定し、2 種の「原子軸からの距離に依存する阻止能」から、表面価電子の集団運動励起によるエネルギー損失の表面からの距離依存性を求めた。これは理論から導かれる値と直接比較できるもので、理論結果と比較し、良く一致することを示した。

第 6 章は、高速イオンが表面で斜入射散乱されるときイオンの荷電状態分布についての研究である。SnTe (100) 表面において斜入射散乱された He イオンの散乱角度分布、荷電状態分布、エネルギー損失の散乱角度依存性を測定した。散乱 He イオンの荷電分布はイオン・表面間の距離に依存した荷電変換確率を用いた速度論的扱いにより説明できること、及び、荷電分布の散乱角度依存性は表面にあるステップにおける散乱として説明できることを示した。

第 7 章では、斜入射散乱イオンの荷電変換とエネルギー損失過程の関連を考察したものである。イオンの散乱軌道に沿ってイオンの荷電状態とエネルギー変化を同時に記述する確率論的方程式を用いて、イオンのエネルギー損失が荷電状態に依存する実験事実を説明すると共に、イオンに対する阻止能がイオン電荷の自乗に比例するとき、イオン・表面間の距離に依存する He の電子損失と電子捕獲確率を実験事実から導き出す方法を示した。

第 8 章では、表面におけるイオン斜入射散乱のモンテカルロ・シミュレーションを行い、イオンの散乱角度分布、エネルギースペクトルが表面ステップ密度、分布に大きく依存することを見いだした。これをもとに、斜入射イオン散乱現象が表面ステップ密度の観測に応用できることを提案した。

第 9 章では、第 8 章での提案を SnTe (100) 表面上での PbSe のエピタキシー成長に応用した研究である。成長初期に基盤 SnTe と成長 PbSe の界面には不整合転位網が出来るが、成長した PbSe が薄いときには転位が表面近くにあり、PbSe の表面に不整合転位網による歪分布が生じる。斜入射散乱イオン強度の散乱角度分布の PbSe 結晶層の厚さ依存性の測定からこの歪を検出することに成功した。

論文審査の結果の要旨

高速イオンによる表面の改質、新材料の製作技術、高速イオンによる固体の分析・評価法等において、イオン・表面相互作用の理解は欠くことのできないものである。本論文は高速軽イオンの超高真空中の単結晶清浄表面における散乱実験により、イオン・表面相互作用の基礎過程、及び、その応用について研究したもので、主な成果は以下の通りである。

1. 単結晶の表面で斜入射散乱したイオンは、エネルギー損失の少ない成分と大きい成分とがある。散乱の特徴、表面形状から前者は表面原子で散乱されたイオン、後者は表面のステップから結晶内に入りス

テップから再び表面外に出てきたイオンによるものであることを示した。

2. 斜入射散乱したイオンのエネルギー損失値の入射角度依存性の測定から、「表面からの距離に依存する阻止能」を求める一般的方法を提案し、これを用いて得られた阻止能がイオン・電子の2体衝突と励起された価電子の集団励起の2つの過程で説明できることを示した。

3. 表面軸チャネリングしたイオンのエネルギー損失の測定から、固体価電子の集団励起によるエネルギー損失の寄与を導くことに成功し、実験結果が理論と良く一致することを示した。

4. 斜入射散乱したHeイオンの荷電状態分布は、表面からの距離に依存するHeイオンの電子捕獲、電子損失確率に依存し、散乱Heの電子移行過程はイオン軌道に沿って速度論的に取扱えることを示した。

5. イオンのエネルギー、荷電状態がイオン軌道に沿って変化する様子を確率過程模型を用いて記述し、表面からの距離に依存する電子捕獲、電子損失確率を実験事実から導き、また、散乱イオンの荷電状態によりエネルギー損失が異なるという実験事実を説明した。

6. イオン軌道のシミュレーションより、表面斜入射イオンの散乱角度分布、エネルギースペクトルが表面ステップの分布、密度に影響されることを見だし、イオン斜入射散乱を用いた表面状態研究法を提案した。

7. SnTe単結晶(100)表面上のPbSeのエピタキシャル成長過程をHeイオンの斜入射散乱法で測定し、界面上の不整合転位に起因するPbSe表面の歪を検出した。

以上、本論文はイオン・表面相互作用の基礎過程を明らかにすると共に、その応用として、イオンの表面斜入射散乱が表面状態の研究に有用であることを示したもので、博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また平成5年10月22日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。