

氏名	會根和穂
学位の種類	工学博士
学位記番号	論工博第1216号
学位授与の日付	昭和54年9月25日
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当
学位論文題目	Interactions of Energetic Hydrogen and Helium Ions with Solids —Channeling, Sputtering and Blistering— (高速の水素およびヘリウムイオンと固体との相互作用 —チャネリ ング, スパッタリングおよびブリスタリング—)
論文調査委員	(主査) 教授 向坂正勝 教授 兵藤知典 教授 万波通彦

論文内容の要旨

高速荷電粒子と固体との相互作用の研究は、イオン注入及び核融合炉炉壁の開発のために不可欠のものである。本論文は核融合炉炉壁に重点をおいて、高速陽子及びヘリウムイオンと固体との相互作用を基礎及び応用の両面から実験的に研究したもので、2部からなっている。第1部は、シリコン単結晶の陽子チャネリングを調べることにより、イオンの固体内通過の基礎過程の解明したもので、3章からなっている。第2部は、核融合炉の第一壁候補材料である多結晶モリブデン及び熱分解黒鉛のスパッタリング及びブリスタリング等の表面侵食を調べ、侵食低減化の実用策を提案したもので、4章からなっている。

第1部第1章はチャネリング現象に対する序論で、以下の解析に必要な一般式がまとめてある。

第1部第2章には後方散乱法によるチャネリング効果の測定と解釈が述べてある。チャネリング臨界角及び極小散乱収率の測定値は理論値とよい一致を示したが、臨界角附近で散乱陽子のエネルギー・スペクトルが高エネルギー端にピークをもつことを発見した。このピークを説明するために、チャンネル壁シリコン原子による大角散乱の幾何学的モデルを提案している。

第1部第3章では薄膜透過法によるチャネリング効果の観察と阻止能を扱い、シリコン薄膜単結晶透過によって得られたチャネリング・パターンの写真が示してある。透過陽子のエネルギー・スペクトルの解析から、 $\langle 111 \rangle$ 軸及び(110)面チャンネルに沿ったシリコンの阻止能は、ランダム方向の54%及び65%であることがわかった。一方、理論的にエネルギー損失を数値計算して、これらの実験値を説明するとともに、臨界角附近での阻止能の入射角依存を明らかにした。

第2部第1章は核融合炉炉壁の表面侵食の問題点をまとめたもので、スパッタリングの理論及びブリスタリングのガス圧模型が要約してある。

第2部第2章はエネルギー0.1~6 keVの陽子によるモリブデン及び熱分解黒鉛のスパッタリング収率の測定について述べてある。非常に小さいスパッタリング収率(10^{-5} 原子/イオン)を測定するために、新しくオージェ電子分光法を用いる方法を開発し、1 keV以下の陽子によるスパッタリング収率のデータ

を初めて得ることができた。熱分解黒鉛については物理的スパッタリングと化学的スパッタリングとを分けて測定し、前者に関してはモリブデンの10倍近くになることを見出した。

第2部第3章はエネルギー 100 keV の水素及びヘリウム・イオン衝撃による熱分解黒鉛の表面侵食を扱ったもので、走査型電子顕微鏡による表面観察によって侵食進行状況を追跡した結果が述べてある。ヘリウム衝撃では 1×10^{18} イオン/cm² でフレーキングが起り、 5×10^{18} イオン/cm² で円錐形プリスターが生成すること、水素衝撃ではこれらの線量に対してそれぞれ半球形プリスターの生成とプリスター表皮飛散が起ることが示された。

第2部第4章では多条溝表面による表面侵食低減化の検証が述べてある。モリブデン表面に数 μm の溝を規則的に多数つけると、平滑表面で顕著にみられたフレーキングや大面積剝離が大巾に抑制できることを、100 及び 400 keV のヘリウム照射で確認し、実用炉壁の改良に明るい見通しを与えた。また照射中のヘリウム再放出率を測定して、耐表面侵食構造に対する知見を加えた。

付録には第1部第3章の阻止能計算に用いたコンピュータ・プログラムが示してある。

論文審査の結果の要旨

高速荷電粒子と固体との相互作用は、イオン注入による新材料の開発や核融合炉炉壁の表面侵食等の工学的問題の解決のため、最近になって活発に研究が進められるようになった。本論文は陽子及びヘリウム・イオンと固体との相互作用を、チャネリングという代表的な過程について基礎的に調べるとともに、核融合炉炉壁の重要な工学的問題としてスパッタリング及びプリスタリングの有用な基礎データを実験的に求め、侵食低減の具体案を明示したものである。得られた主要な成果はつぎのとおりである。

1. 単結晶シリコンからの散乱陽子のエネルギー・スペクトルを測定し、チャネリング臨界角及び極小散乱収率が理論値とよい一致を示すことを確かめた。
2. 散乱陽子のエネルギー・スペクトルが臨界角附近で高エネルギー・ピークを示すことを見出した。このピークは表面の結晶不斉や相殺原理からは出てこないものであり、チャンネル壁を形成するシリコン原子の幾何学的配置を考慮した簡単なモデルで説明できることを示した。
3. シリコン単結晶板から枠つきの薄膜単結晶を作る方法を開発し、薄膜透過陽子のチャネリング・パターンを撮影することに成功した。
4. 薄膜単結晶通過の陽子のエネルギー・スペクトルを測定し、その結果を分析してチャンネル方向 $\langle 111 \rangle$ 及び (110) での阻止能を決めた。一方、エネルギー損失の詳細な理論計算を行ない、阻止能実験値を説明するとともに、臨界角附近での阻止能の変化の様子を明らかにした。
5. 低スパッタリング収率を測定するために、オージェ電子分光法を用いる測定法を新しく開発し、1/100 原子層までのスパッタリング測定を可能にした。この方法により、これまで測定できなかった 1 keV 以下の陽子によるスパッタリング収率をモリブデン及び熱分解黒鉛について測定し、貴重なデータを出すことができた。
6. 100 keV の水素及びヘリウム・イオン衝撃による熱分解黒鉛の表面侵食を、走査電子顕微鏡による表面観察によって追跡し、プリスタリング及びフレーキングの進行状況及び入射イオンの種類による違い

を明らかにした。

7. 前項6の観測結果をもとに、表面侵食を抑制する非常に簡単な方法として表面を粗くすればよいことを推論し、多条溝表面のモリブデンについて実験的にそれを確かめた。この構造は核融合炉炉壁に対して簡単に実用化できるもので、卓越した発見である。

8. 多条溝表面と平滑表面のモリブデン試料について、照射中のヘリウム再放出率を測定し、耐表面侵食のメカニズムについて更に立入った考察を行なった。

以上要するに、本論文は高速荷電粒子と固体との相互作用として、チャネリング効果を通して固体内現象を、スパッタリング及びブリストリングの測定から固体表面現象を解明したものである。得られた実験データは何れもこの方面の研究の基礎となることは勿論のこと、実験の諸段階で開発された各種の技術及びオージェ電子分光法を用いる低スパッタリングの測定法等は今後の研究に対して非常に有用である。また多条溝表面の発見は核融合炉炉壁に対して実用化が約束されるものであり、学術上、工学上寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。