

氏名(本籍)	かた ぶち たつ や 片 瀨 竜 也 (埼玉県)		
学位の種類	博 士 (理 学)		
学位記番号	博 甲 第 2 , 065 号		
学位授与年月日	平 成 11 年 3 月 25 日		
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当		
学位論文題目	Macroscopic Migration of Implanted Deuterium in Silicon (シリコン中での注入重水素の巨視的移動)		
主 査	筑波大学教授	理学博士	古 野 興 平
副 査	筑波大学教授	理学博士	李 相 茂
副 査	筑波大学助教授	理学博士	田 岸 義 宏
副 査	筑波大学講師	理学博士	新 井 一 郎
副 査	日立製作所・主任研究員	理学博士	田 村 誠 男

### 論 文 の 内 容 の 要 旨

本論文は、シリコン中に一定量以上の濃度で注入された重水素の巨視的な移動を初めて実験的に検証し、重水素の巨視的移動とフレーキング（表面剝離）のメカニズムをパーコレーションモデルによって論述したものである。一般にフレーキングは、固体中に注入されたイオンがガスとなって局所的に蓄積され、その圧力によって固体表面が部分的に剝離される現象である。その結果、固体表面には数ミクロン程度の直径を持ったクレーターがランダムに形成される。

しかし著者は、従来知られていた現象とはまったく異なる新しいフレーキングを発見した。すなわち、単結晶シリコンに1 cm<sup>2</sup>当たり $5.4 \times 10^{17}$ 個以上の重水素イオンを注入したとき、ランダムなクレーターではなく、直径数mmから数cmに及ぶクレーターが同心円状に広がり、規則的・巨視的構造を示すフレーキング現象を観測した。シリコン中に打ち込まれた重水素は、その濃度が低い場合、注入層に形成された格子欠陥の末結合手にトラップされ、殆ど動けないことが分かっている。したがって当初この現象の物理的理解は困難であったが、著者は重水素の拡散の代わりに、重水素分子がガスバブルのネットワークに沿って動くと考え、このようなガスバブルの巨視的なネットワークが存在するか否かを実験的に調べた。

そのため新しい実験方法を開発し、重水素ガスの巨視的移動による重水素濃度の減少を原子核反応D (d, p) Tで放射される陽子を測定することによって定量的かつ精度良く求めた。実験結果に対して、著者はパーコレーション理論（浸透理論）を適用し、観測された規則的フレーキングを重水素の巨視的移動によって説明するモデルを提案した。パーコレーション理論は統計物理学における理論の一つであり、格子の中にランダムに分布した占有格子点同士のつながりを扱うものである。この理論によれば、ランダムにばらまかれた占有格子点の数がある閾値を超えたとき、巨視的なネットワークが形成される。著者は、実験データからこの閾値および臨界指数と呼ばれる次元不変量が求められ、それらが2次元系のパーコレーションの理論値と定性的に一致することを見出した。

このことから著者は、シリコン単結晶への重水素注入において現れる規則的・巨視的クレーターの生成に対する定性的解釈として、注入された重水素イオンの蓄積によって多数の重水素ガスバブルが形成され、そのパーコレーションネットワークを通じて重水素の巨視的な移動が起こると結論している。

## 審査の結果の要旨

イオン照射によるフレーキング現象は、種々の金属において多数研究されている。これらはすべて固体表面にランダムに数ミクロン程度の直径を持ったクレーター形成を伴っている。本論文において、著者は単結晶シリコンを用いて従来観測されている現象とはまったく異質であるミリメートルオーダーの規則的・巨視的なフレーキング現象を初めて観察し、その形成メカニズムをパーコレーション理論に基づいたモデルで理解した。

また著者は、実験方法についても多くの工夫を行っている。特に巨視的な重水素の移動量を定量的に評価するため、注入イオンと同じ重陽子ビームによる原子核反応 $D(d, p)T$ を用いたことが大きな特徴である。これによってガスバブルのネットワークについて定量的な議論が可能となり、その閾値および臨界指数の導出が可能となった。

以上のとおり本論文は、(1)新しい現象の発見、(2)固体中に注入された重水素濃度を高い空間分解能で時々刻々とリアルタイムで測定する方法の開発、(3)統計理論に基づく新しいフレーキング機構の提案、の3点において独創的な論文であり、応用面では単結晶薄膜生成の新しい方法を示唆するものとして高く評価できる。

よって、著者は博士(理学)の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。