

|         |   |
|---------|---|
| 氏 名     | 竹 入 康 彦<br><small>たけ いり やす ひこ</small>   |
| 学位の種類   | 工 学 博 士   |
| 学位記番号   | 論工博第2109号   |
| 学位授与の日付 | 昭和63年3月23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  | Intense heavy negative-ion beam production and negative ion beam deposition<br>(大電流負重イオンビームの生成と負イオンビームデポジションに関する研究) |
| 論文調査委員  | (主 査)<br>教授 高木 俊宜 教授 山田 公 教授 板谷 良平  |

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、金属負イオンビームによる薄膜形成を目的として、小型マイクロ波イオン源及びそれを用いた大電流負重イオン源の開発、負イオンビームデポジション装置の開発ならびに炭素負イオンビームデポジションによる透明炭素膜の形成に関する研究をまとめたものであり、6章からなっている。

第1章は序論であり、負イオンビームを物性分野へ応用することの意義を示し、本研究の目的は薄膜形成可能な大電流負重イオン源の開発及び実際に負イオンビームデポジションによって薄膜を形成することであるとしている。そして、この研究目的に沿って開発した大電流負重イオン源及び負イオンビームデポジション装置の設計思想を概説した後、本論文の各章の概要について述べている。

第2章は、大電流負重イオン源に必要な1次プラズマ型イオン源として開発した「引出し電極通過磁気回路構造(永久磁石使用)小型マイクロ波イオン源」についてまとめている。即ち、永久磁石と磁性体の組合せによりイオン引出し電極を通過する閉磁路を構成するという独自の構造を詳説した後、磁力線分布、イオンビーム軌道、イオン引出し特性、質量分析、エミッタンス測定等の動作特性を理論的及び実験的に解析している。

第3章は、開発した小型マイクロ波イオン源を1次イオン源とする「中性及びイオン化アルカリ金属照射併用型大電流負重イオン源」について述べている。まず、金属表面における2次負イオンの生成過程について理論的に考察し、金属表面の仕事関数が低いほど負イオン化効率が増大すること及び仕事関数は表面に吸着したセシウム原子層に依存することなどについて議論している。それをふまえて、ターゲット表面へ中性セシウムの照射が可能で、かつ、ターゲット温度も制御できるという大電流負重イオン源の独自の構造を詳説している。また、中性セシウムのターゲット表面への照射効果及びターゲットの温度制御の効果という観点から動作特性を実験的に解析している。さらに、ターゲット表面へ入射するセシウムイオン電流の増加によって負イオン収量が増加することを実験的に確認している。そして、表面に吸着したセシウム原子層の制御と仕事関数及び負イオン収量の関係を議論している。

第4章は、大電流負重イオン源を用いて薄膜形成のために開発した負イオンビームデポジション装置に

ついて述べている。まず、正イオンビーム減速系に比べ負イオンビーム減速系の方が優れている点を議論し、次に減速系におけるビームの発散を効果的に抑える電極配置を提案し、それを基に構成した負イオンビームデポジション装置の動作特性を理論的及び実験的に解析している。そして、実際にカーボン負イオンを用いてカーボン薄膜を作製している。

第5章は、負イオンビームデポジション装置を用いて作製したカーボン薄膜の光学的・電気的特性、結晶構造等を示している。そして、デポジションエネルギーの依存性、基板温度の依存性及びC<sup>-</sup>蒸着とC<sub>2</sub><sup>-</sup>蒸着の差異等の観点から、作製したカーボン薄膜の特性について議論している。その結果として、負イオンビームデポジションによる薄膜形成は新しい技術として有望であることを示している。

第6章は結論であり、第2章から第5章で得られた結果の総括である。

### 論文審査の結果の要旨

負イオンビームの物性分野への応用は、イオンのもつ運動エネルギーあるいは電荷の効果を考えた場合、基板への入射エネルギーとして数eVから数百eVという極低エネルギー領域において興味深い、今まで蒸着膜形成に必要な十分な負イオンが得られなかったこともあって、この分野の研究はなされていなかった。本論文は、このような状況のもとで、まず負イオンビームを用いて薄膜形成に十分な電流が得られる大電流負重イオン源を開発し、それを用いた負イオンビームデポジション装置を構成し、実際に炭素負イオンを蒸着させ、透明カーボン膜を作製するという開発的、実験的研究を行った結果をまとめたものである。得られた成果の主なものは次の通りである。

1. 大電流負重イオン源の1次プラズマ型イオン源として開発された「引出し電極通過磁気回路構造（永久磁石使用）小型マイクロ波イオン源」は、永久磁石と磁性体の組合せによりイオン引出し電極を通過する閉磁路を構成するという独自の構造により、ECR放電による高密度プラズマの生成と軸方向磁場に沿った高効率イオン引出しを可能にした。そのため、反応性ガスをはじめ各種ガス、金属蒸気などで高電流密度のイオン引出しが可能で、不純物の少ない低エミッタンス・高輝度の良質なイオンビームが得られている。さらに、小型で長寿命かつ消費電力が少ないため、大電流負重イオン源の1次イオン源としての応用だけでなく、それ自身、高効率小型マイクロ波イオン源としても有用である。この研究成果は欧州においてMeVインプラネーション用正イオン源として採択され実用化されている。

2. 開発された「中性及びイオン化アルカリ金属照射併用型大電流負重イオン源」は、金属ターゲット表面上への中性セシウム蒸気の照射とターゲットの温度制御が、同時に、かつ、独立して可能であるという独自の構造により、ターゲット表面上の仕事関数を低く保つことができ、負イオン収量を大幅に増加させた。また、両者の効果を実験的に明確にし、表面上のセシウム原子層と仕事関数を考察した。そして、ターゲットへ入射するセシウムイオン電流を増加させることにより、炭素負イオンの収量で740μAという世界最高の値を記録している。これによって、負イオンビームによる薄膜形成が可能になった。

3. 負イオンビームデポジション装置を開発し、実際に薄膜が作製できることを示している。負イオンビーム減速系が正イオンビーム減速系より有利であることを明らかにし、また、減速ビームの発散を抑え

るため、減速電極系の手前にアインツェルレンズと、基板直前に  $67.5^\circ$  の角度を有するウーネルト電極とをそれぞれ設け、それらの組合せによるビーム発散抑止効果の有効性を計算機シミュレーションにより明らかにした。同時に、高電流密度のイオンビームを極低エネルギーの領域まで収量を減少させずに減速できることを実験的に確かめ、実際に1～2時間で数千 Å の薄膜を作製している。

4. 負イオンビームデポジション装置を用いてカーボン薄膜を作製し、透明なカーボン膜を得ている。デポジションエネルギーが  $24\text{ eV} \sim 1\text{ keV}$  で  $\text{C}^-$  の蒸着を行い、作製したカーボン膜の性質を調べ、エネルギーが  $100 \sim 200\text{ eV}$  の時に最大の光学的バンドギャップ、電気抵抗率及び原子密度を示すことを明らかにした。また、基板温度が室温の時はアモルファスであり、基板温度を高くするとグラファイト的な性質を示すようになること、および  $\text{C}_2^-$  の蒸着によるカーボン膜の方が  $\text{C}^-$  の時よりも優れた性質を示すことも明らかにした。これらの結果より、負イオンビームによる薄膜形成法は新しい技術として有望であることを立証した。

以上述べたように、本論文は、負イオンビームによる薄膜形成技術を確立するため、大電流負重イオン源を開発し、実際にカーボン負イオンを蒸着させて透明カーボン膜を作製するという開発的・実験的研究を行って多くの成果をあげ、同時に多くの有用な知見を得たものであり、学術上・實際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た。

また、昭和63年1月8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。