

Title	電子サイクロトロン共鳴の高効率化に基づく先進プロセス用プラズマ源開発
Author(s)	浅地, 豊久
Citation	大阪大学, 2007, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/48585
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

氏名	あさ じ とよ ひさ 浅 地 豊 久
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学位記番号	第 2 1 1 9 6 号
学位授与年月日	平成 19 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科電子情報エネルギー工学専攻
学位論文名	電子サイクロトロン共鳴の高効率化に基づく先進プロセス用プラズマ源 開発
論文審査委員	(主査) 教授 飯田 敏行 (副査) 教授 田中 和夫 教授 上田 良夫 教授 兒玉 了祐 教授 西原 功修 教授 三間 罔興 教授 朝日 一 助教授 加藤 裕史

論 文 内 容 の 要 旨

第 1 章では、プラズマプロセス分野におけるこれまでのプラズマ源と非半導体分野での新しいプラズマ源の重要性について概説した。そして、本研究における ECR プラズマ源開発の目的と応用を示した。

第 2 章では、本研究における装置の開発方針として、基本原理となる電子サイクロトロン共鳴の高効率化に関する基礎事項について説明し、共鳴領域での電界強度の上昇およびマイクロ波周波数の増加によって、ECR プラズマ生成の高効率化が可能であることを示した。

第 3 章では、プラズマを生成する真空容器を空洞共振器として設計し、TE₀₁ モードを共振することにより電界強度を高め、ECR プラズマ生成の高効率化を図った。プラズマ密度測定の結果、マイクロ波電力 100 W 以下で 2.45 GHz のカットオフ密度に到達し、マイクロ波の省電力化を図ることができた。

第 4 章では、空洞共振器型プラズマ源を応用したエッチング装置を用いて、ニオブ酸リチウム (LN) およびポリメチルメタクリレート (PMMA) のエッチングを行った成果について述べた。LN エッチングでは、200 nm/min 以上のエッチングレートを達成し、7 μm の深掘加工を実現した。また、PMMA エッチングでは、垂直な側壁・平滑な底面を持つ加工法を確立した。

第 5 章では、マイクロ波の高周波数化と円筒櫛状磁場の採用によって、高密度プラズマを生成した実験について述べた。プラズマ閉じ込め効果の高い円筒櫛状磁場を用いて、11~13 GHz マイクロ波でプラズマ生成を行った結果、350 W のマイクロ波電力で 10^{18} m^{-3} のプラズマ密度に到達した。これは、同等の性能を有する従来例の 1/8 の電力であり、ECR プラズマ生成の高効率化が達成できた。さらに、電子温度の分布測定より、第 2 高調波共鳴付近で電子温度が上がり、その共鳴がプラズマ生成に寄与していることを明らかにした。また、2.45 GHz でのプラズマ生成結果と比較し、プラズマ密度がマイクロ波周波数に依存することを示した。

第 6 章では、ECR プラズマ源に引き出し電極を取り付け、イオンビームの形成と PMMA の表面改質実験について述べた。イオンビームの引き出し実験では、チャイルド・ラングミュアの式に従って、引き出し電圧の 3/2 乗の傾きでビーム電流が増加し、制御性の良いビーム生成ができていたことを確認した。酸素イオンビームを PMMA 基板に照射し、酸素プラズマ照射およびアルゴンイオンビーム照射と比較して、親水化の効果が長時間持続することを明らかにした。

第 7 章では、本研究で得られた知見を総括し、本論文の結論とした。

論文審査の結果の要旨

本論文は、電子サイクロトロン共鳴（ECR）プラズマの優れた特性を利用して、広範囲の先進的プロセスへ適用可能な新しいプラズマ/イオン源を実験的に研究したものであり、以下の結果を得ている。

- (1) 研究開発方針として、ECR の高効率化に関する事項を精査し、共鳴領域での電界強度増大とマイクロ波周波数向上が、ECR プラズマ生成の高効率化に資することを示している。
- (2) プラズマ生成容器を空洞共振器として直接励振し、電界強度上昇によって ECR プラズマの高効率化が図られている。モード共振実験で円周方向成分のみの電界を持つ TE₀₁ モードが単一励振出来ることを示し、ECR プラズマ生成時に共振効果でイオン飽和電流値は増加し、マイクロ波電力 100 W 以下で 2.45 GHz のカットオフ密度に達し、極めて有効な省電力化が実現できることを示している。
- (3) 空洞共振器型プラズマ源をニオブ酸リチウム（LN）およびポリメチルメタクリレート（PMMA）のエッチングに適用している。LN では、200 nm/min 以上のエッチングレートを達成し、7 μm の深掘加工を実現している。PMMA では、垂直な側壁・平滑な底面を持つ加工法を確立している。
- (4) マイクロ波の高周波数化と円筒櫛状磁場の採用によって、先進的プロセスに適用可能な新たなプラズマ源を構築して、プロセスプラズマとして高密度プラズマを達成している。プラズマ閉じ込め効果の高い円筒櫛状磁場を考案し、11~13 GHz マイクロ波でプラズマ生成を行った結果、わずか 350 W のマイクロ波電力で 10¹⁸ m⁻³ のプラズマ密度に到達し、これは同等の性能を有する従来例の 1/8 の電力であり、大幅な省電力化を実現している。さらに、電子温度分布測定により、第 2 高調波共鳴点付近で電子温度が上昇し、プラズマ生成に寄与していることを明らかにしている。そしてプラズマ密度およびエネルギー密度の周波数に対する実験的なスケーリング則を確立している。
- (5) 本 ECR プラズマ源に引き出し電極を取り付け、イオンビーム化して PMMA の表面改質を行っている。酸素イオンビームを PMMA 基板に照射し、その親水性効果の経時変化が、従来の酸素プラズマ照射およびアルゴンイオンビーム照射と比較して、長時間持続することを明らかにしている。

以上のように、本論文は非半導体分野を含む先駆的プロセスに用い得る新しいプラズマ源/イオンビーム源実現に向けて、ECR の高効率化を主眼において装置を構築して実験的検証を行ったものであり、多くの知見が得られている。また具体的応用に適用して評価している。これらの知見は今後、当該分野に一つの設計指針を示すものであり、よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。