



|              |                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Title        | Studies on Control of Reactive Plasmas and Its Application to Synthesis of Diamond Films in Vapor Phase                                                                                                                                                              |
| Author(s)    | 八田, 章光                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Citation     | 大阪大学, 1996, 博士論文                                                                                                                                                                                                                                                     |
| Version Type |                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| URL          | <a href="https://hdl.handle.net/11094/39685">https://hdl.handle.net/11094/39685</a>                                                                                                                                                                                  |
| 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">＜a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"&gt;https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed</a> >大阪大学の博士論文について</a>をご参照ください。 |

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

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

The University of Osaka

|               |                                                                                                                                                         |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 氏 名           | はっ た あき みつ<br>八 田 章 光                                                                                                                                   |
| 博士の専攻分野の名称    | 博 士 (工 学)                                                                                                                                               |
| 学 位 記 番 号     | 第 1 2 5 9 8 号                                                                                                                                           |
| 学 位 授 与 年 月 日 | 平成 8 年 3 月 28 日                                                                                                                                         |
| 学 位 授 与 の 要 件 | 学位規則第 4 条第 2 項該当                                                                                                                                        |
| 学 位 論 文 名     | Studies on Control of Reactive Plasmas and Its Application to<br>Synthesis of Diamond Films in Vapor Phase<br>(反応性プラズマの制御とそのダイヤモンド薄膜気相合成への応用に<br>関する研究) |
| 論 文 審 査 委 員   | (主査)<br>教 授 平木 昭夫<br>教 授 青木 亮三      教 授 白藤 純嗣                                                                                                           |

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、電子材料や高機能性材料、集積回路デバイスなどの作製や加工に広く用いられているプラズマプロセスについて、将来さらに要求される高精度な制御性、大面積化、高速化に必要なプラズマの発生と制御、プラズマ中の気相反応の解析と制御に関して行った研究と、その成果をダイヤモンド薄膜の気相合成に応用した結果をまとめたものであり、以下の 7 章から構成されている。

第 1 章ではプラズマプロセスの応用分野と重要性、現在までの問題点と解決への取り組みを概観し、その中での本研究の位置づけと意義を明らかにしている。また、本論文の構成を示している。

第 2 章では、空間的・時間的プラズマの変調による反応制御の基本原則について述べている。均一なプロセスを実現するには、むしろ不均一なプラズマの発生と制御が必要であることから空間変調された不均一リアクターを提案している。また、積極的な気相合成制御に有効なパルス変調プラズマを提案している。

第 3 章では、反応制御に重要な電子のエネルギー分布と空間分布を広い範囲にわたって制御可能な、電子サイクロトロン共鳴プラズマを発生するために必要となる、マイクロ波アンテナを設計し、これを用いて生成したプラズマの評価を行っている。このアンテナを応用し、磁場の空間分布を利用してラミナー（薄い膜状）プラズマを生成し、不均一リアクターを実現している。

第 4 章では、永久磁石を用いてプラズマを発生させるために必要なマイクロ波導入方法を考案しその動作を確認している。この原理を応用し、処理基盤の大面積化に対応できる 12 インチ以上の大口径プラズマを生成している。この大口径プラズマは、電力の空間配分を制御することで大口径均一プロセスが可能であることが計算で示されている。

第 5 章では、プラズマの時間的変調としてガス供給のパルス変調を行い、時間分解の質量分析測定により、プラズマ中でのシランガスの反応速度と反応過程、幾つかの炭化水素ガスの分解速度を測定し、他の方法で求められた反応断面積データと比較することで本研究で示した解析方法の妥当性を明らかにしている。

第 6 章では、プラズマの時間的変調制御をダイヤモンド薄膜気相合成へ応用している。この結果、放電のパルス変調により成長速度が改善できること、プラズマ中の活性種密度が制御できることを明らかにしている。

第 7 章に本論文で得られた結論を明らかにしており、この研究成果に基づいたプラズマ制御方法の将来の応用について示している。

## 論文審査の結果の要旨

プラズマを用いた材料の作製・加工プロセスは現在の半導体産業の基盤技術の一つであり、将来の新材料開発や超高集積回路作製の鍵を握っている。本研究はプラズマプロセスの大面积かつ高精度制御の手法を示したものであり、得られた主要な成果を要約すると、次の通りである。

- (1) プラズマプロセスでもっと重要なパラメータである電子エネルギー分布と電子密度の空間分布を制御できる電子サイクロトロン共鳴プラズマの発生に有用なマイクロ波アンテナを設計し、これを用いてプラズマを発生させ、プラズマ中でのマイクロ波の伝播特性を評価している。
- (2) プラズマのアスペクト比を変化させることで、プラズマパラメータが変化すること、また、アスペクト比の大きなプラズマと材料ガスの分子流を組み合わせることでプラズマ中の電子衝突反応と化学反応を分離できることを示している。また、これを実現するために、コイルの磁場と永久磁石を組み合わせ、磁力線の分布を制御することによりラミナー（薄い膜状）プラズマが発生可能であることを示している。
- (3) 永久磁石の表面磁場領域からマイクロ波を放射するための結合器を設計し、その動作を確認している。この動作原理に基づいて大口径の電子サイクロトロン共鳴プラズマを発生させることができる、多重同心円筒アンテナを設計し、直径300mm以上の大口径プラズマの発生に成功している。発生した大口径プラズマのプロセス均一性向上は、各円筒アンテナへの電力配分調整で可能であることを計算で示している。
- (4) ガスのパルス供給を行い、入射されたガスの時間的変化を四重極質量分析によって観測し、プラズマプロセスで最も重要な原料ガスの1つである、シランの反応過程を調べている。いかなる反応装置にも応用可能な、本研究の測定方法で得られた実際の反応速度が、文献で報告されている値と一致することを示し、解析方法の妥当性を示している。ダイヤモンド薄膜の合成に用いられる炭化水素ガスについても反応速度の測定を行っている。
- (5) ダイヤモンド気相合成に用いられる有磁場マイクロ波放電をパルス変調し、同じ平均電力の連続放電を比べて数倍速い成長速度を実現している。赤外レーザー吸収分光法を用いてプラズマ中のメチルラジカルの密度を計測し、パルス変調によってメチルラジカルの密度が上昇することと、メチルラジカルの絶対密度はダイヤモンドの成長に必要な量と比べて十分に高いことを示している。

以上のように本論文は、プラズマプロセスの空間的・時間的制御技術を確立し、実際のプロセスとしてダイヤモンド薄膜気相合成へ応用した事例を示しており、将来の材料開発とデバイス作製プロセスへの貢献が極めて期待される成果である。よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。