



Title	Production of Helicon Wave-Excited Plasma and Application to Sputter Deposition
Author(s)	張, 津秋
Citation	大阪大学, 1997, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/40588">https://hdl.handle.net/11094/40588</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">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	張 津 秋
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 1 3 3 3 4 号
学 位 授 与 年 月 日	平 成 9 年 6 月 30 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 生産加工工学専攻
学 位 論 文 名	Production of Helicon Wave-Excited Plasma and Application to Sputter Deposition (ヘリコン波励起プラズマの生成とスパッタリングへの応用)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 三 宅 正 司 (副査) 教 授 井 上 勝 敬    教 授 牛 尾 誠 夫    教 授 黄 地 尚 義

## 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、高密度ヘリコン波励起プラズマ生成の問題について系統的に研究を行うと共に、この型式のプラズマをDCスパッタリングに重畳することにより開発した低圧動作スパッタリング装置の特性を明らかにし、さらにこれを用いてCN薄膜合成を行った結果を述べたものである。

本論文は緒論、総括までを含めて全6章から構成されている。

第一章では、研究の背景と問題点を示し、本研究の目的と研究方針を述べている。

第二章では、ヘリコン波励起プラズマ生成を行い、その特性について系統的に調べている。その結果希ガスのみならず種々の分子ガス中で、 $m=0$ モードのヘリカルアンテナを用いることにより、 $0.1\text{ Pa}\sim 1\text{ Pa}$  台の圧力で $10^{12}\sim 10^{13}\text{ cm}^{-3}$  台の高密度プラズマが得られることを確認している。さらに投入されたRFパワーの約80%がプラズマの生成・維持に消費され、高周波パワーがプラズマに効率良く吸収されることが明らかになっている。

第三章では、ヘリコン波励起プラズマ生成の機構解明のため、プラズマ中のRF磁場分布の測定を行っている。その結果、高密度モードのプラズマが得られている時には、大振幅のヘリコン波が励起され伝搬していることが確かめられている。また、この波の分散式と実験結果はよい対応を示すことを明らかにしている。

第四章では、開発したヘリコン波励起プラズマ支援DCスパッタリング装置の特性について調べている。その結果、このプラズマを用いることにより $10^{-2}\text{ Pa}$  台の圧力でもスパッタ放電を維持し、さらにRFパワーの増加に伴って放電電流が顕著に増加することが明らかになっている。一例として、圧力 $0.4\text{ Pa}$  でAlターゲット放電電流が $2\text{ A}$ 、成膜速度 $1\text{ }\mu\text{m/min}$  という高い値が得られている。これからRF高密度プラズマがスパッタリングプロセスにたいして極めて大きな貢献をすることが確認されている。

第五章では、ヘリコン波励起プラズマ支援スパッタリング法により、CN薄膜合成を行った結果について述べている。得られた結果は、窒素分圧80%プラズマにおいて膜中のN/C比は0.92に達し、この比はターゲット電流や $\text{N}_2$ 混合率を変えることにより制御できることを示している。また、膜の化学的結合状態をXPS及びFT-IRにより調べ、 $\text{sp}^3$  および  $\text{sp}^2$  の両者の結合状態の存在を確認し、 $\text{sp}^3$  状態もN/Cの増加に伴って増えることを明らかにしている。そ

して膜の硬度は  $N/C$  に依存し、 $N/C=0.92$  の時、約  $2600 \text{ kgf/mm}^2$  に達している。

第六章では、本研究の結果を総括し、結論としている。

## 論文審査の結果の要旨

スパッタリングのプロセスにおいて、薄膜形成の高速化と共に、膜中へ混入する中性粒子などの低減のための低圧力化が要求されている。そのため、 $0.1 \text{ Pa}$  付近の圧力で電離度の良い、電子密度の高いプラズマを利用することが望まれている。本研究は上記の要求を満たす方法として、外部磁場中のヘリコン波励起プラズマに着目し、その特性について系統的に実験を行うと共に、この型式のプラズマを DC スパッタリングに重畳することによる低圧動作スパッタリング装置の開発を行っている。そしてその特性を明らかにすると共に、さらにこれを用いて CN 薄膜合成を行った結果を述べている。主な成果は以下の 4 点に要約される。

(1)  $m=0$  モードのヘリカルアンテナを用いることにより、種々の分子気体中でも  $0.1 \text{ Pa} \sim 1 \text{ Pa}$  台の圧力で  $10^{12} \sim 10^{13} \text{ cm}^{-3}$  台の高密度プラズマが得られることを初めて確認している。さらに投入された RF パワーの約 80% がプラズマの生成・維持に消費され、高周波パワーがプラズマに効率良く吸収されることを明らかにしている。又発光スペクトルの観測から、高密度モードの分子気体中では、原子状中性粒子の存在が顕著であることを明らかにしている。

(2) ヘリコン波励起プラズマ生成の機構解明のため、種々の気体のプラズマ中の RF 磁場分布の測定を行っている。その結果、いずれの気体 ( $\text{Ar}$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2$  など) の場合でも、高密度モードのプラズマが得られている時には、大振幅のヘリコン波が励起され伝搬していることが確かめられている。また、この波の分散式と実験結果はよく対応することを示している。

(3) この高密度ヘリコン波励起プラズマを、円筒型ターゲットの DC スパッタリング放電に重畳することにより、RF プラズマのない場合より 2 桁以上圧力が低い場合 ( $10^{-2} \text{ Pa}$  台) でも、放電の維持が可能となっている。さらに RF パワーの増加に伴って放電電流が顕著に増加し、圧力  $0.4 \text{ Pa}$  で Al ターゲット放電電流が  $2 \text{ A}$ 、成膜速度  $1 \mu\text{m/min}$  という、通常のスパッタリング装置と比べて極めて高い値が得られている。これから RF 高密度プラズマがスパッタリングプロセスにたいして極めて大きな貢献をすることを明らかにしている。

(4)  $\text{Ar} + \text{N}_2$  気体中のヘリコン波励起高密度プラズマを利用し、CN 薄膜合成を行っている。そして窒素分圧 80% プラズマにおいて膜中の  $N/C$  比は、従来得られているものより大きな  $0.92$  という値に達し、この比はターゲット電流や  $\text{N}_2$  混合率を変えることにより制御できることも明らかにしている。また膜の化学的結合状態を XPS 及び FT-IR により調べ、 $\text{sp}^3$  および  $\text{sp}^2$  の両者の結合状態の存在を確認し、 $\text{sp}^3$  状態も  $N/C$  の増加に伴って増えることを初めて明らかにしている。

以上のように、本論文はヘリコン波励起プラズマ生成の問題について系統的に研究を行い、その特性を詳細に明らかにしている。そして初めてこの型式のプラズマを DC スパッタリングに重畳することにより、低圧動作スパッタリング装置の開発を行うと共に、これを用いてダイヤモンドより高硬度を有する可能性がある CN 薄膜合成の研究を行い、種々の新しい知見をもたらしており、材料プロセス並びに生産加工工学に寄与するところが大きい。よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。