

## 熱陰極直流放電プラズマによる銅基板上への絶縁膜生成と物性評価

著者	加藤 達也
雑誌名	静岡大学大学院電子科学研究科研究報告
巻	25
ページ	130-133
発行年	2004-03-08
出版者	静岡大学大学院電子科学研究科
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10297/1426">http://hdl.handle.net/10297/1426</a>

氏名・(本籍)	加 藤 達 也 (静岡県)		
学位の種類	博 士 (工 学)		
学位記番号	工博甲第 237 号		
学位授与の日付	平成 15 年 3 月 23 日		
学位授与の要件	学位規程第 5 条第 1 項該当		
研究科・専攻の名称	電子科学研究科 電子材料科学		
学位論文題目	熱陰極直流放電プラズマによる銅基板上への絶縁膜生成と物性評価		
論文審査委員	(委員長)		
	教授	江 間 義 則	教授 永 津 雅 章
	助教授	木 下 治 久	教授 神 藤 正 士

## 論 文 内 容 の 要 旨

自動車の高性能化や安全性の向上は、近年のエレクトロニクス的发展と共に、急激に進んでいる。最近では、エアバックや ABS (Anti-lock Braking System) は標準装備となっており、更に車載ナビゲーションシステムなどの情報通信機器も搭載されるようになってきている。このため、機器間をつなぐ配線は益々肥大化し、配線作業性の低下や重量増加による燃費の低下などの弊害を引き起こしており、配線の小型・軽量化が望まれているが、より耐熱性の高い電線を要求することとなる。また、自動車のエンジンの高出力化やエンジンルーム内の電装品装着密度の増加に伴って、エンジンルーム内の温度が高くなっており、ここに用いられる電線もまた高い耐熱性が要求されている。このような状況に対して筆者は、低温で処理ができ、原料を変えることによって種々の機能を持つ薄膜を生成することができるプラズマ CVD に着目し、金属基板表面への絶縁薄膜形成の研究を行うこととした。

周知のように、プラズマ CVD は被処理物の温度を比較的低温度に保ったまま処理できることから、半導体の製造、薄膜の生成、ダイヤモンドの合成等に利用され、その応用分野は多岐に渡っている。しかし、半導体の製造等に用いられるプラズマ CVD 装置は二次元的な平面基材に成膜することを前提に設計されており、三次元的な成形物への均一な絶縁膜生成には必ずしも適しているとはいえない。本研究では、始めに、三次元的な成膜ができる小容積の熱陰極直流放電プラズマ CVD 装置を開発してその特性を調べ、次いでこのプラズマによる銅基板上への SiC 膜および SiN 膜の生成

とその特性評価を行い、本手法の実用性を検討した。本論文の構成は以下の通りである。

第1章は序論であり、本研究の位置づけと目的を述べている。第2章では、プラズマ CVD による絶縁膜形成の研究動向に関して、その現状と課題を述べている。

プラズマ CVD 法等により作製した薄膜の適切な評価は重要である。このため第3章では、薄膜の構造組成に関する分析・評価方法について述べた。本研究で実際に膜組成の分析に用いた手法に関して、その原理と特徴を概説した。

第4章から第7章までは、本論文の骨子をなす章にあたる。まず第4章では、銅基板表面に均等に成膜するためのプラズマを生成するために、円筒型のヘリカル型陰極の内側に円筒型のステンレスメッシュ陽極を同軸状に配置した直流放電装置を作製し、生成される水素プラズマの特性について述べた。作製した大口径電極(陰極直径：70mm、陽極直径：42mm)および小口径電極(陰極直径：38mm、陽極直径：18mm)に関して、ラングミュアプローブにより測定されたプラズマ特性を考察した。この結果、1)直径0.5mmの2%トリア入りタングステン線で製作したヘリカルコイルを用いた熱陰極は、ヘキサメチルジシランで処理することにより、十分な熱電子放出を行うようになること、2)ヘリカルコイルに10AのDC電流を流すことによって熱陰極を2000Kに加熱することができるが、この温度はプラズマの維持に十分な温度であること、3)水素50mTorr、放電電圧30V、放電電流3～5Aで維持されるプラズマ密度は $10^{11} \sim 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ であり、プラズマ CVD に十分な密度のプラズマが生成されること、が判った。また、半径方向のプラズマ密度分布を測定した結果、以下のことが判った。4)半径方向のプラズマ密度はヘリカル状コイル付近で最大値を示し、電子温度はヘリカルコイル付近で5～6eVと10～12eVの二つの値を示した、5)ヘリカル型熱陰極を用いて生成したプラズマは、ヘリカルコイルに流れる10Aの陰極加熱電流によって誘起される磁場と電極間の放電電圧とによって特徴のある特性を示す。すなわち熱陰極からの熱電子はヘリカルコイル付近でサイクロトロン運動とE×Bドリフト運動を引き起こす結果、電子と中性粒子の電離衝突はヘリカルコイル付近で局所的に増加するので、プラズマ密度と電子温度の局所的な増大が見られることが判った。

第5章では、成膜において重要である基板温度の測定方法を検討した。非接触式放射温度計を用いた基板温度の測定方法を考案した結果、陰極加熱電力と基板温度との関係を明らかにすることができた。第6章では、原料にヘキサメチルジシランを用い、本実験装置により生成したプラズマにより、銅基板上に薄膜を生成する実験を行った結果について述べている。生成膜の構造を分析した結果、水素化アモルファス SiC(a-SiC:H)であること、生成膜は高い絶縁性を持ち高温耐酸化特性が優れていることが分かった。さらに、a-SiC:Hの生成条件について検討し、その生成条件が膜形成および特性に与える影響を明らかにした。第7章では、成膜速度および生成膜の可撓性の向上を目的とし、水素に窒素を混合し、その混合比と流量などの成膜条件の検討を行った。この結果、成膜速度は、他のプラズマ CVD 装置と同等の能力を示すことが確認された。また、水素中に数パーセントの窒素を添加することによって生成膜の可撓性が向上することが確認された。最終章の第8章では結論を述べ、本研究で得られた知見をまとめた。

## 論文審査結果の要旨

自動車はエレクトロニクス化の進展に伴って高性能化し、安全性も大幅に向上している。しかし、車内の配線は肥大化し、配線作業性の低下や重量増加などの弊害が顕在化したため、配線の軽量化が望まれている。また、自動車のエンジンの高出力化やエンジンルーム内の電装品装着密度の増加に伴って、高耐熱性電線の必要性が増大している。本論文は、この様な状況に対処するために、低温で種々の機能を持つ薄膜を生成できるプラズマ CVD 法を用いて、金属基板表面に絶縁性薄膜を形成することを目的として実施された研究を纏めたものである。

プラズマ CVD では、被処理物を比較的低温に保ったまま処理できるので、電子デバイスの製造などに広く用いられている。しかし、半導体製造等に用いられるプラズマ CVD 装置は二次元的な平面基材に成膜することを前提に設計されており、三次元的な成形物への均一な絶縁膜生成には必ずしも適していない。本研究では、始めに、三次元的な成膜ができる小容積の熱陰極直流放電プラズマ CVD 装置を開発してその特性を調べ、次いでこのプラズマによる銅基板上への SiC 膜および SiN 膜の生成とその特性評価を行い、本手法の実用性を検討した。

第 1 章では、本研究の位置付けと目的が、第 2 章では、プラズマ CVD による絶縁性薄膜形成の現状と課題が述べられている。第 3 章では、この薄膜の構造組成の分析・評価方法が紹介された後、本研究で用いた薄膜組成の分析法に関する原理と特徴が概説されている。

第 4 章から第 7 章までは、本論文の骨子をなす章にあたる。第 4 章は、銅基板表面に均質な成膜をするための直流放電装置の説明に当てられている。この装置は円筒型のヘリカル熱陰極の内側に円筒型ステンレスメッシュ陽極を同軸状に配置して構成される。この装置で生成される水素プラズマの特性をラングミュアプローブにより測定した結果、1) 直径 0.5mm の 2% トリア入りタンゲステン線で製作したヘリカル熱陰極は、ヘキサメチルジシランで処理することにより活性化され、十分な熱電子放出を行うようになること、2) 水素 50mTorr、放電電圧 30V、放電電流 3 ~ 5A で維持されるプラズマ密度は  $10^{11} \sim 10^{12} \text{ cm}^{-3}$  であり、プラズマ CVD に十分なプラズマ密度であること、が判った。また、径方向のプローブ測定より、3) プラズマ密度はヘリカルコイル付近で最大となり、電子温度はヘリカルコイル付近で 5 ~ 6eV と 10 ~ 12eV の二つの値を示すこと、4) ヘリカル熱陰極により生成されるプラズマは、ヘリカルコイルを流れる 10A の陰極加熱電流により誘起される磁場と放電電圧とによって、陰極からの熱電子が捕捉されドリフト運動を起こす結果、電離はヘリカルコイル付近で局所的に生じて、プラズマ密度と電子温度の局所的な増大をもたらすこと、が判った。

第 5 章では、成膜において重要なパラメータである基板温度の測定方法を検討している。非接触式放射温度計を用いた基板温度の測定方法を考案し、陰極加熱電力と基板温度との関係を明らかにした。第 6 章では、原料のヘキサメチルジシランを水素プラズマに混入することにより、銅基板上に絶縁性薄膜を生成する実験結果を述べている。生成膜の構造を分析した結果、水素化アモルファス SiC (a-SiC:H) であること、生成膜は高い絶縁性を持ち高温耐酸化特性が優れていることが分かった。さらに、a-SiC:H の生成条件について検討し、その生成条件が膜形成および特性に与える影

響を明らかにした。第7章では、成膜速度および生成膜の可撓性向上を目的として水素プラズマに窒素を混合し、その混合比と流量などの成膜条件を検討した結果、成膜速度は他のプラズマCVD装置と同等の能力を示すことが確認された。また、水素中に数パーセントの窒素を添加することにより生成膜の可撓性が向上することを確認している。最終章の第8章では結論を述べ、本研究で得られた知見をまとめた。

以上のように、本研究では工学的観点から見て多くの有意義な知見を得ている。よって、本論文は博士(工学)の学位を授与するに相応しい内容を具備していることを認める。