

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 12765 号
------	---------------

氏 名 杉浦 啓嗣

論 文 題 目

Control of Properties of Amorphous Carbon Thin Films by
Internal Parameters of a Low-Temperature Plasma
(低温プラズマの内部パラメータによるアモルファスカーボン薄膜
の物性制御)

論文審査担当者

主査	名古屋大学	教授	堀 勝
委員	名古屋大学	教授	宮崎 誠一
委員	名古屋大学	教授	吉田 隆
委員	名古屋大学	教授	齋藤 永宏

論文審査の結果の要旨

杉浦啓嗣氏提出の論文「Control of Properties of Amorphous Carbon Thin Films by Internal Parameters of a Low-Temperature Plasma（低温プラズマの内部パラメータによるアモルファスカーボン薄膜の物性制御）」は、プラズマ励起化学気相堆積法（PECVD）を用いたアモルファスカーボン膜の形成プロセス技術において、プラズマ中の粒子を基軸とした内部パラメータを計測するとともに、カーボン膜の組成や結合構造との関係を明らかにし、内部パラメータとアモルファスカーボン薄膜の物性の相関を体系的に研究した結果をまとめたものであり、全8章から構成されている。

第1章は、序論で、アモルファスカーボン薄膜とその構造や特性を説明し、デバイスに向けた物性制御の意義を明確にするとともに、PECVDにおけるラジカル、イオンなどの内部パラメータの薄膜形成への寄与や成膜機構における研究を概観し、本論文の目的と意義、そして構成について述べている。

第2章では、本研究で用いたプラズマ成膜装置とアモルファスカーボン薄膜の評価方法やプラズマ計測方法について述べている。

第3章では、プラズマ中の水素原子と水素イオンが成膜特性、膜構造および膜物性の与える影響について述べている。特に、成膜と水素原子または水素とイオン照射とを交互に行うプロセス手法を提案し、それぞれの方法で成膜したアモルファスカーボン薄膜の膜厚、化学結合、フォトルミネッセンスの強度、欠陥密度、光学的バンドギャップおよび電気伝導度を評価している。その結果、水素原子および水素イオンが与える薄膜形成への機構を解明した。

第4章では、プラズマ中の CH_3 ラジカルの挙動に注目し、 CH_3 ラジカルの密度を質量分析計で計測するとともに、原料ガスの滞在時間とその密度の関係と薄膜への影響について詳細に調べている。その結果、 CH_3 ラジカルがアモルファスカーボン膜の sp^3 結合の形成に関連していることを突き止めた。

第5章では、発光分光法によるプラズマのスペクトルを解析した結果、 C_2 ラジカルに起因する発光が、アモルファスカーボン膜中の sp^2 クラスターの形成の指標になることを明らかにしている。

第6章では、アモルファスカーボン薄膜の成長機構の一つとして、イオン衝撃に注目し、イオン衝撃のエネルギーフラックスと薄膜の構造との関係を詳細に調べている。特に、エネルギーフラックスの増加に従って、 sp^2 結合のクラスター化が進み、フラフライト状の構造が形成されることを見出し、エネルギーフラックスが薄膜の構造を決定する重要なパラメータであることを定量的に明らかにした。

第7章では、プラズマとカーボン系薄膜との相互作用を原子レベルで解析する手法として、プラズマ照射下でのその場透過型電子顕微鏡観察による表面反応解析手法を開発している。酸素プラズマによるグラフェンとのエッチング過程に着目し、酸素ラジカルが、グラフェンをエッチングしていく様子を時間発展で観察することに成功した。また、電子エネルギー損失分光法の低損失スペクトルを解析することにより、グラフェンの層方向のエッチングは、15分で1層の速度で進行し、エッジでの速度は、 $0.4\text{nm}/\text{min}$ であることを明らかにした。これらの結果は、プラズマと材料との化学的相互反応の解明に大きく寄与することが期待される。

第8章では、本研究の結果を総括し、今後の課題および展望について述べている。

以上のように、本研究では、プラズマを用いたアモルファスカーボン薄膜の堆積プロセス技術において、プラズマ中の粒子に関する内部パラメータを計測するとともに、薄膜の構造や化学結合への寄与を系統的にまとめ、その反応機構を解明した。さらに、酸素ラジカルとグラフェンとの相互作用をその場透過型電子顕微鏡観察による表面反応解析手法によって明らかにした。これらの成果は、学術上、又工業上寄与するところが極めて大きいと判断できる。よって、本論文提出者である杉浦啓嗣氏は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格があると判断した。