

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 12294 号
------	---------------

氏 名 笹井 建典

論文題目

スロット励起高密度マイクロ波プラズマの生成と樹脂表面処理への応用に関する研究

(Study on Production of High Density Microwave Plasma with Slot-excited Antenna and its Application to Polymer Surface Treatment)

論文審査担当者

主査	名古屋大学	教授	豊田 浩孝
委員	名古屋大学	教授	堀 勝
委員	名古屋大学	特任教授	石川 健治
委員	中部大学	教授	中村 圭二

論文審査の結果の要旨

笹井建典君提出の論文「スロット励起高密度マイクロ波プラズマの生成と樹脂表面処理への応用に関する研究」は、次世代エレクトロニクスや次世代自動車に利用される樹脂表面の処理プロセスとして、新しい減圧表面波プラズマ及び大気圧マイクロ波プラズマ生成法を考案し、そのプラズマ生成機構を明らかにするとともに、これらの装置を用いた表面処理をおこない工業的有用性を実証している。各章の概要は以下の通りである。

第1章では、「次世代エレクトロニクス動向」、「次世代自動車動向」、「環境動向」等から、ユビキタス社会の到来、ディスプレイ等の大型化・薄肉化、自動車の電子化、排ガス・蒸散規制強化、環境に優しい“ものづくり”の必要性を述べ、これらに対応する表面改質や薄膜形成法として、プラズマ表面改質・プラズマ薄膜堆積の有用性を示している。さらに、現在採用されている減圧プラズマ生成法と大気圧プラズマ生成法を概観し、各プラズマ生成法の特徴・課題を紹介するとともに、これらのプラズマ生成法の中における表面波プラズマ等のマイクロ波プラズマ生成法の特徴を示し、本研究の目的を述べている。

第2章では、減圧マイクロ波プラズマの特性評価に向けプラズマ計測・診断法として用いたラングミュアプローブ法について述べている。また、樹脂表面の評価方法として、マイクロ波プラズマ処理後の樹脂表面親水性評価のために用いた水接触角測定法、樹脂フィルム表面に析出した基材由来のノジュールの分解効果を検証するために用いた走査型プローブ顕微鏡 (SPM)、樹脂表面の化学修飾の観点から樹脂表面の改質効果を検証した X 線光電子分光法 (XPS)、スパッタ堆積プロセスにて酸化膜を成膜した際の膜結晶性を評価するために用いた X 線回折分光法 (XRD) 等について述べている。

第3章では、まず、ロール・ツー・ロールスパッタ堆積プロセスの具現化や品質・生産性向上に向けたスパッタ堆積プロセス直前のノジュール分解・不純物除去・表面改質の必要性について述べている。その後、ロール・ツー・ロールスパッタ堆積プロセスと同一圧力 (<1Pa) で表面処理を実現するプラズマ源として新たに開発した、改良型の表面波プラズマ (SWP) 源に関する研究成果を示している。具体的には、スロットアンテナからの電力放射方向と表面波伝播方向の合致により表面波伝播を易化させることが可能となる新たなマイクロ波カプラーを備えた表面波プラズマ装置 (MMC-SWP) を提案し、0.6Paの低圧プラズマ維持および $3 \times 10^{17} \text{ m}^{-3}$ の高電子密度を実証することで従来型 SWP に対する MMC-SWP の優位性を示している。さらに MMC-SWP を用いて 0.6Pa の低圧において樹脂フィルムを処理した結果、高速ノジュール除去が可能であることも示している。以上の結果は、同一プロセスチャンバー内で、スパッタ堆積プロセスと共用できる新たな表面改質プラズマ源としての MMC-SWP の実用性を示す重要な成果である。

第4章では、第3章で開発した MMC-SWP のさらなる応用として、MMC-SWP と RF バイアス電力の組み合わせにより無磁場で均一なスパッタ堆積プロセスを可能とする新たなスパッタリング装置 (無磁場表面波スパッタリングプラズマ: MF-SSP) を提案し、その応用として絶縁膜スパッタリングの低圧均一成膜性や結晶性等の研究成果を示している。まず、MMC-SWP と RF バイアス電力の組み合わせにより、マグネトロンプラズマを使用することなく無磁場かつ 0.5Pa 未満の低圧力において、10cm×10cm の空間内で不均一性 5% 以下の均一なスパッタ堆積速度が実現できることを示し、さらに本装置を用いて 200°C の基板温度で MgO 膜をスパッタ堆積し、(100) の高配向性と均一成膜性を示している。これらの結果から、MF-SSP が均一で低ダメージのスパッタ成膜のための有望なスパッタ装置であることを示している。

第5章では、高分子チューブの積層 (複層高分子チューブの界面接着) において接着成分を用いることなく表面改質をおこなうことをめざし、高分子チューブの曲線形状表面の均一な処理を実現する同軸導波管を用いたリング型大気圧マイクロ波プラズマ (APMP) を提案し、APMP 生成機構の検討と高分子表面への応用をおこなった研究について述べている。新たな装置構成として (1) 大気圧プラズマ生成を易化する空洞共振器反射板としての機能、および (2) 放電ギャップの正確なアライメントを実現するための支持構造、の 2 つの機能を併せ持った誘電体板を同軸導波管に導入することを提案し、シミュレーション解析結果からプラズマ生成には誘電体板の最適位置が存在することを示すと同時に、同一構造のプラズマ装置を用いた実験において誘電体位置とプラズマ生成条件の比較をおこない、シミュレーション結果が妥当であることを示している。また、本プラズマ装置の有用性を検証するために、このリング型 APMP を用いたエチレン-テトラフルオロエチレン共重合体 (ETFE) の表面処理効果を検証し、数秒以内の短時間プラズマ照射での表面改質効果を実証している。さらにリング型 APMP の新たな応用展開例として、硝酸銀水溶液等にリング型 APMP を照射し金属ナノ粒子合成が可能であることを示しており、本研究で提案した装置の有用性を実証している。

第6章では、本研究の結論を与えている。

以上のように本論文では、新しい減圧表面波プラズマ及び大気圧マイクロ波プラズマ生成法による樹脂表面処理プロセスを提案し、これらのプラズマを用いた表面処理の工業的有用性を実証している。これらの結果は、次世代エレクトロニクスや次世代自動車に利用されるさまざまな樹脂表面の効率的処理のための新たなプロセスを実現するための重要な成果であり、工学の発展に寄与するところが大きいと判断できる。よって、本論文の提出者である笹井建典君は博士 (工学) の学位を受けるに十分な資格があると判断した。