

プラズマ材料表面処理技術の最新動向

プラズマ材料表面処理技術の動向調査専門委員会編

(発行日 2023年2月27日)

目次	
1. 導入	3
2. プラズマ成膜【物理プロセス】	4
2.1 パルスプラズマによる成膜	4
2.2 大電力パルススパッタにおけるイオンの解析	9
2.3 高出力パルススパッタプラズマを用いた硬質フィルムの作成	12
2.4 粉体スパッタリング成膜技術	17
2.5 Zn-O ₂ 混合プラズマによる ZnO 透明導電膜の合成	21
2.6 溶射技術の太陽電池製造プロセスへの応用	26
3. プラズマ成膜【化学プロセス】	30
3.1 超高速プラズマ成膜・処理技術	30
3.2 低エネルギーイオン照射下のプラズマ成膜技術	34
3.3 準大気圧・大気圧マイクロ波プラズマ成膜	37
3.4 硬質ダイヤモンドライクカーボン成膜を目的とした非平衡大気圧炭化水素パルスプラズマのシミュレーション	38
4. プラズマ拡散処理	43
4.1 ループ型熱プラズマを用いた高速表面酸化処理技術	43
4.2 大気圧プラズマ窒化技術	45
4.3 液体窒素中放電による金属の表面改質	49
5. プラズマ表面改質	52
5.1 連続多孔質誘電体内部の親水化	52
5.2 大気圧プラズマ処理によるフッ素樹脂の表面改質技術	55
5.3 気液界面プラズマによる炭素材料改質	59
5.4 低温プラズマによるカーボンナノチューブの官能基修飾とその複合材として利用	62
6. プラズマ材料表面処理技術の新概念	66
6.1 準大気圧ヘリウムアーク放電プラズマ照射による繊維状ナノ構造形成	66
6.2 エネルギーが揃えられた特定イオンのみによる膜質向上の実験的検証	68
7. まとめ	71

プラズマ材料表面処理技術の動向調査専門委員会委員

委員長	市 來 龍 大(大 分 大 学)	委 員	黒 木 智 之(大 阪 公 立 大 学)
幹 事	東 欣 吾(元 兵 庫 県 立 大 学)		上 坂 裕 之(岐 阜 大 学)
委 員	安 藤 康 高(足 利 大 学)		佐 藤 直 幸(茨 城 大 学)
	大 島 多 美 子(佐世保工業高等専門学校)		白 藤 立(大 阪 公 立 大 学)
	太 田 貴 之(名 城 大 学)		高 木 浩 一(岩 手 大 学)
	小 川 大 輔(中 部 大 学)		竹 内 希(東 京 工 業 大 学)
	小 田 昭 紀(千 葉 工 業 大 学)		田 中 康 規(金 沢 大 学)
	金 載 浩(SAMSUNG ELECTRONICS)		堤 井 君 元(九 州 大 学)
	菊 池 祐 介(兵 庫 県 立 大 学)		比 村 治 彦(京 都 工 芸 繊 維 大 学)
	木 村 高 志(名 古 屋 工 業 大 学)		吉 田 昌 史(大 同 大 学)

執筆担当箇所

第 1 章	市來龍大
第 2 章 1 節	高木浩一
2 節	太田貴之
3 節	東 欣吾, 木村高志
4 節	大島多美子
5 節	佐藤直幸
6 節	安藤康高
第 3 章 1 節	上坂裕之
2 節	堤井君元
3 節	金 載浩
4 節	小田昭紀
第 4 章 1 節	田中康規
2 節	市來龍大
3 節	吉田昌史
第 5 章 1 節	白藤 立
2 節	黒木智之
3 節	竹内 希
4 節	小川大輔
第 6 章 1 節	菊池祐介
2 節	比村治彦
第 7 章	高木浩一

1. 導入

プラズマ特有の化学反応性を利用した産業応用には、プラズマと気体とを反応させるもの（例えば排ガス処理）、液体と反応させるもの（例えば水処理やナノ粒子合成）、固体と反応させるもの（本報告書を参照）、近年では超臨界流体と反応させるものまであり、私たちの身の回りに存在するありとあらゆる物質がプラズマ化学反応のターゲットとなっている。この中で、固体以外のターゲットは対流や攪拌が可能のため、原理的にプラズマによって物質の“バルク”全体を反応させられることから、極めて効率の良い反応場であるというイメージがある。

一方、対流させられない固体とプラズマを反応させる場合、多くの技術で固体の表面のみが反応のターゲットとなる。そのような技術がプラズマ表面技術などと呼ばれているわけであるが、そう聞くとこの技術は一見、表面しか反応させられない非効率的で用途も限定的な技術に聞こえるかもしれない。しかしよくよく考えてみると、人類が固体材料を使う際に、その表面の特性さえよければそれで十分という使用用途がどれほど多くあることか。耐摩耗性・耐食性しかり、親水性・接着性しかり、触媒・光触媒作用しかり。また電子デバイスなど所謂ナノテクの分野においては、機能材料が「薄膜」という形で利用されることが多く、これらの成膜自体もまさに表面技術である。さらに近年ではナノ材料の官能基による修飾にもプラズマが多用されるなど、ますますプラズマ表面技術の用途は拡大している状況にある。このようにプラズマ表面技術は、固体材料をこれでもかと言わんばかりに高付加価値化する極めて汎用性の高い一大技術群であると言える。

このように産業界で多用されるプラズマ表面技術はその研究開発も日進月歩であり、放電、プラズマ、パルスパワー技術の研究分野を包括する電気学会基礎・材料・共通部門(A部門)では、期せずしてほぼ10年おきに関連する調査専門委員会が設置されてきた。まず1999年に発足した「プラズマを媒体とする素材表面改質処理プロセス技術調査専門委員会」では各種技術をコーティング技術と表面改質技術に分類し、またプラズマを低温プラズマと熱プラズマに分類して研究動向が調査された⁽¹⁾。続いて「メタルスパッタプラズマの高度化専門調査委員会」が発足し、ここではプラズマ表面技術の中でもスパッタリングに重点が置かれ、2009年の技術報告では電子デバイス作製やハードコーティングといった当時の多様な最新応用事例がまとめられた⁽²⁾。そして現在、表面技術に用いられるプラズマは低温プラズマと熱プラズマだけでは分類できないほど多様化しており、例えば大気圧プラズマや液中プラズマが当たり前のように用いられている。さらに最近では非中性プラズマを応用した新しいイオンプロセスや、核融合炉壁の研究分野で発見された表面ナノ構造形成の研究も進んでおり、プラズマ表面技術を新たな概念をもって理解しなおすべき時期を迎えている。

このため、2019年に本技術報告の母体である「プラズマ材料表面処理技術の動向調査専門委員会」が発足し、10年前には存在していなかったプラズマ表面技術の最新研究動向が3年にわたり調査された。

本調査専門委員会では多様なプラズマ表面技術を「成膜」「拡散処理」「表面改質」「新概念」の4分類に分け、それぞれの分類の最新研究動向を包括的に調査した。本技術報告における章立ては以下の通りである。

- 第2章：プラズマ成膜【物理プロセス】
スパッタリング、イオンプレーティング、溶射によって硬質膜や機能性薄膜を形成する技術群
- 第3章：プラズマ成膜【化学プロセス】
プラズマ CVD によって硬質膜や機能性薄膜を形成する技術群
- 第4章：プラズマ拡散処理
酸素、窒素等の軽元素をドーピングすることで材料表面の機械特性や機能性を向上させる技術群
- 第5章：プラズマ表面改質
材料の最表面を官能基修飾することで親水性、接着性、化学反応性等を制御する技術群
- 第6章：プラズマ表面技術の新概念
上記に分類されない新たなコンセプトをもって最近スタートした研究

また、図 1.1 に本報告書で解説する具体的な技術についてまとめた。

本技術報告を介した読者のみなさまとの知識共有がきっかけとなり、プラズマ表面技術に関するさらなる技術開発や社会実装が実現することを委員一同願っている。

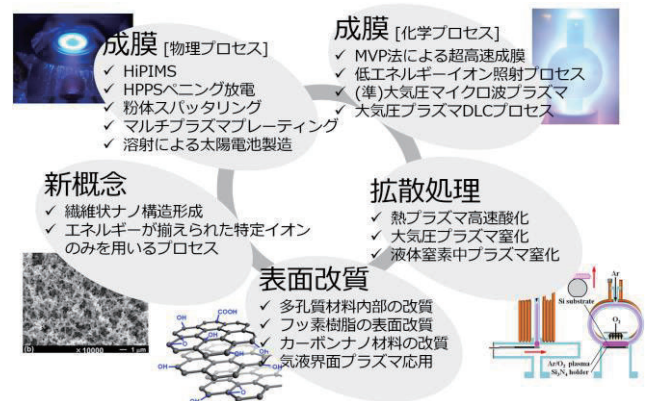


図 1.1 本技術報告で解説する各種技術群

Fig.1.1. Plasma surface technologies to be described here.

参考文献

- (1) プラズマを媒体とする素材表面改質処理プロセス技術調査専門委員会編：「プラズマを用いた素材の表面改質技術」，電気学会 (2003)。
- (2) メタルスパッタプラズマの高度化調査専門委員会編：「メタルスパッタリングプラズマの高度化とその最新動向」，電気学会 (2009)。