

磁化同軸ガンによる合金薄膜高速生成法の開発 Development of a high-rate generation technique for alloy thin-film by utilizing a magnetized coaxial plasma gun

○高津幹夫¹, 山崎翠¹, 宮本靖孝², 浅井朋彦³
鈴木薫⁴, 西宮伸幸⁵, 板垣宏知⁶, 小口治久⁷

*Mikio Takatsu¹, Midori Yamazaki¹, Yasutaka Miyamoto², Tomohiko Asai³,
Kaoru Suzuki⁴, Nobuyuki Nishimiya⁵, Hiroto Itagaki⁶, Haruhisa Koguchi⁷

Abstract: Magnetized coaxial plasma gun (MCPG) is utilized for a high-rate deposition of high-melting-point metals. In the developed method, a center electrode of MCPG consists of multiple pins made of target conductive materials. The electrode materials are ionized and ablated by the gun-current sputtering and only ionized materials are electromagnetically accelerated by self-Lorenz force with ionized operation gas as a magnetized thermal plasmoid. This mechanism can reduce non-uniformity of a deposited thin-film. The repetitive operation technique of plasmoid has been developed. Therefore, the film thickness can be controlled by the number of pulses precisely with the order of 1nm thickness. The condition of surface of the samples have been analyzed by the scanning electron microscope.

1. 背景・目的

磁化同軸プラズマガン (Magnetized Coaxial Plasma Gun : MCPG) は、スフェロマック配位を持つ磁化プラズマの生成やトカマクなどへの磁気ヘリシティおよび粒子供給を目的に、主に核融合分野において研究されてきた⁽¹⁾。しかし、これらの目的では、電極のスパッタによるプラズマへの不純物の混入が問題となっていた。

本研究では、この問題を積極的に利用し、手法が限定⁽²⁾されていた高融点金属材料の高速成膜法への応用を試みた。MCPG を応用することで、放電電流によるスパッタリングでイオン化した金属粒子のみを電磁加速し、プラズマ生成領域から離れた基板上に成膜させた。このとき、輸送されるプラズマを分光計測することで、金属イオンの基板付近への輸送を確認した。作製した試料は、走査型電子顕微鏡 (SEM) およびエネルギー分散型 X 線分析 (EDX) 装置により、表面観察を行い、基板位置による元素分布の評価を行った。

2. 実験装置

(1) MCPG

MCPG は中心電極、絶縁体、外部電極およびバイアスコイルで構成される (Figure 1)。電極間にアルゴンガスを導入し、電圧を印加してプラズマを生成すると、放電電流と方位角方向に形成される磁場によるローレンツ力でプラズモイドは軸方向に電磁加速される。放電電流により中心電極の表面から溶発された材料のうち、イオン化されたものはプラズモイドと共に電磁加速される。また、バイアスコイルにより電極間に磁場を印加することで、プラズモイドにポロイダル磁場が印加され、閉じ込め磁場 (スフェロマック配位) が形

成されることにより、金属イオンの拡散が抑制される。

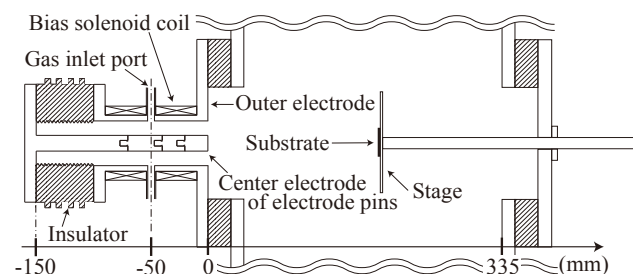


Figure 1. Diagram of the magnetized coaxial plasma gun with substrate stage.

(2) 成膜装置

開発した MCPG の中心電極は、複数の電極ピンで構成され、異なる金属材料を用いることで、それらが合金化された薄膜の生成が可能となっている。また、電極ピンの材料・長さ・配列によって、溶発させる金属材料やその比率を容易に変更することができる。

プラズマ生成部と基板ステージ部が独立しているため、基板への熱負荷やドロップレットの混入を低減できる他、繰返しパルス放電によりプラズマを生成することで、成膜速度を約 1 \AA/s 、膜厚を約 1 \AA の精度で制御できる。

電極ピンにタングステン、鉄、マンガン鋼を使用し、ガン射出口から 185 mm の位置に基板を設置した予備の実験では、電極材料に由来するタングステン (融点 $3420 \text{ }^\circ\text{C}$) を含む金属イオンのガラス基板への輸送、並びに基板への堆積が確認された。

3. 分析結果

基板位置によるドロップレットの低減を検証するた

1 : 日大理工・院(前)・物理 2 : 日大理工・学部・物理 3 : 日大理工・教員・物理 4 : 日大理工・教員・電気
5 : 日大理工・教員・応化 6 : 東京大学 7 : 産業技術総合研究所

め、基板位置 100 mm および 250 mm で試料を作製した。今回は、電極ピンにチタン (Ti)、ジルコニウム (Zr)、マンガン (Mn) 鋼を使用し、500 パルスで銅基板上に成膜した試料を SEM/EDX により表面分析を行った。

Figure 2 に基板位置による各元素の堆積量を示す。今回作製した試料は、膜厚が十分でなかったため、基板の成分である Cu が検出されたが、電極材料である Ti, Zr, Mn, Fe の堆積および、基板位置による堆積量の変化が確認された。

Figure 3, 4 に各元素の分布と表面形状を示す。Ti および Zr は μm オーダーで一様に堆積しているが、Mn および Fe は、一部がドロップレットとなり堆積している。また、基板位置によってその粒径が変化することが確かめられた。このドロップレットは、Mn と Fe のみを含むことから、電極表面からマンガン鋼のまま合金化されずに堆積したものと考えられる。

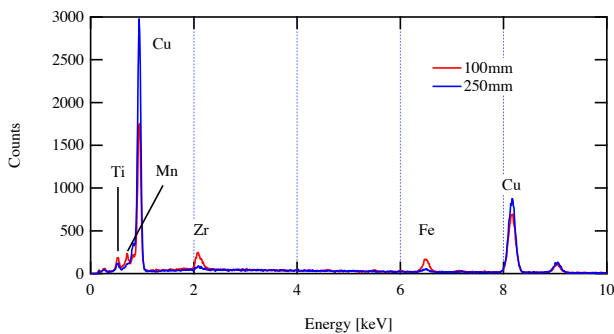


Figure 2. Spectrum of character X-rays at substrate position 100 mm and 250 mm.

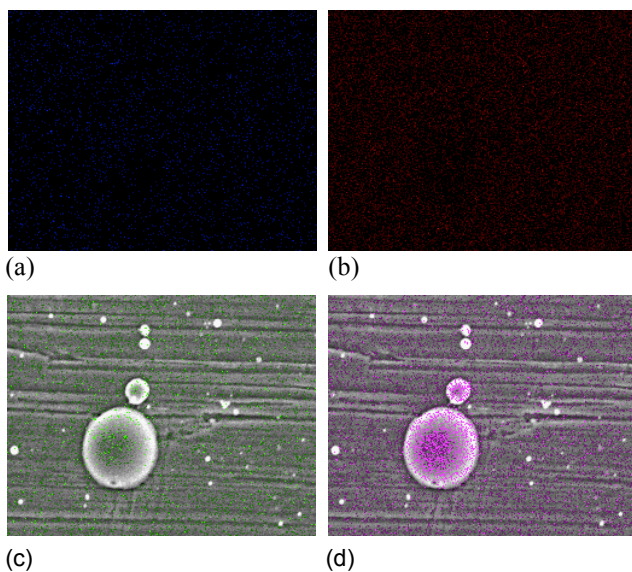


Figure 3. Assays of sample at substrate position 100 mm in magnification x3000 by SEM/EDX. (a) Ti, (b) Zr, (c) Mn and SEM image, (d) Fe and SEM image.

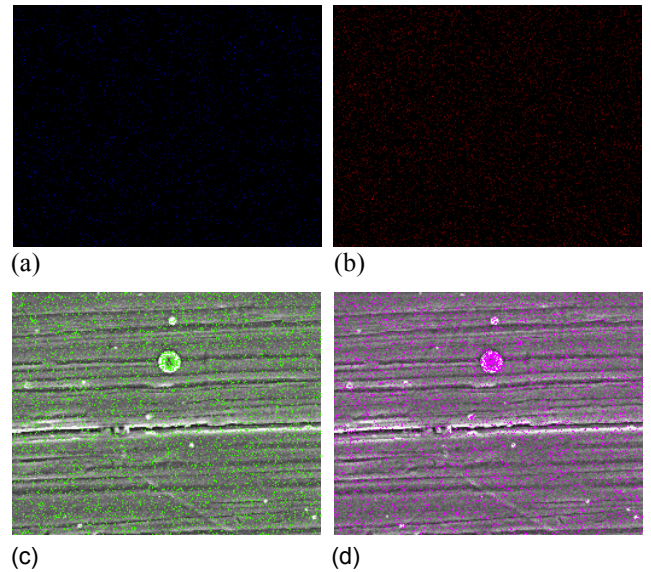


Figure 4. Assays of sample at substrate position 250 mm in magnification x3000 by SEM/EDX. (a) Ti, (b) Zr, (c) Mn and SEM image, (d) Fe and SEM image.

4. 今後の展望

新たな合金薄膜生成法として MCPG を応用することにより、高融点金属を溶発させ、Ti, Zr, Mn 等の金属粒子をガラスおよび Cu 基板上に堆積させることに成功した。また、SEM/EDX 観察により、基板位置による金属粒子の堆積量とドロップレットの粒径変化および各金属粒子の μm オーダーでの混合を確認した。

今後は、電極ピンの配列やパルス数など、各成膜条件において試料を作製し、SEM を中心とした表面観察によって、それらの影響を検証する。また、セルロース基板に成膜を行い、水素分離膜としての利用を検討する。

5. 参考文献

- [1] T. Asai et al.: "New control methods for stabilization and equilibrium of a field-reversed configuration", in ICC 2011 and CT workshops, 2011.
- [2] 金原 粲 他: 「薄膜工学」, 丸善出版, pp.79-84, 2003.