

磁化同軸イオン加速法による多層・混合薄膜生成 Multilayer and a Mixed Film Generation by a Magnetized Coaxial Ion Accelerator

○原勝弥¹, 石川有宰¹, 田中郁行², 関口純一³, 浅井朋彦³*Katsuya Hara¹, Yusai Isikawa¹, Fumiyuki Tanaka², Junichi Sekiguti³, Tomohiko Asai³

Abstract: A magnetized coaxial ion accelerator (MCIA) has been utilized for mixed film formation. However, composition ratio of thin film formed by MCIA is difficult to be controlled. Therefore, we have developed thin film formation method using plural MCIA's. It is expected that multilayer film and a mixed film are formed by changing discharge starting time. In this work, a set of electric discharge circuit and a signal control system have been constructed for multilayer film and a mixed film generation.

1. はじめに

これまでに実用化されている成膜法において、多層薄膜の生成法としてはイオンビームアシスト蒸着法 (Ion beam Assisted Deposition: IAD) が、混合薄膜は、アークイオンプレーティング法 (Arc Ion Plating: AIP) が代表的である。IAD 法は、真空中で蒸発原をヒーターで加熱蒸発させイオン銃で数百 eV 程度のガスイオン (Ar, O) を基板に照射し、蒸発粒子に運動エネルギーを与えることで基板へと堆積させる方法である。また AIP 法は、真空容器内で金属材料を陰極としたアーク放電を発生させ、材料表面に形成されるアークスポットに集中するアーク電流のエネルギーにより、金属材料を瞬時に蒸発・イオン化させ基板表面に薄膜を形成する方法である[1]。しかし、上記の方法では、イオン銃での照射の際の基板への熱負荷やアークスポットの一点への大電流が流れることによる溶融粒子 (ドロップレット) が不可避免的に放出されてしまう問題がある。

そこで、本研究では磁化同軸イオン加速法 (Magnetized coaxial ion accelerator: MCIA) を多層・混合薄膜の生成に応用することを試みた。MCIA は内部電極、外部電極およびバイアスコイルで形成されている (Figure 1)。MCIA による薄膜の生成過程では、まずバイアス磁場を印加し、ガス導入口から動作ガスを導入した後、電極間に高電圧を印加する。それにより、動作ガスに絶縁破壊が生じ、プラズマが生成される。プラズマの生成に伴い内部電極として設置された金属や炭素などの導電性材料を叩き出す。これを径方向の放電電流と方位角方向の磁場によって電磁加速し、プラズマと共に基板へ入射することで薄膜を生成する。電磁加速を用いることで、従来の成膜法に比べ基板への熱負荷の低減や、付着強度の向上などが実験結果から示されている[2]。

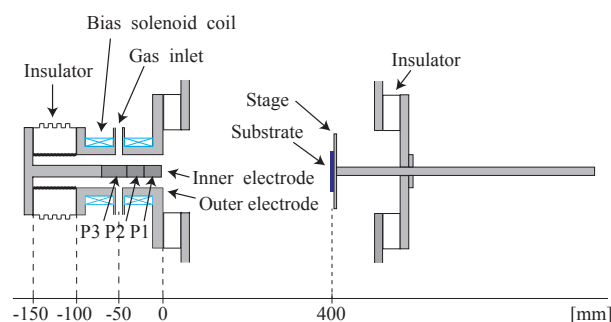


Figure 1. Schematic of magnetized coaxial ion accelerator

また、MCIA を用いた薄膜の生成法では、内部電極をピン構造にし、配列を変更することで混合薄膜を生成する手法が開発されている。この手法では、ピンの配列 (Figure 1 中の P1, P2, P3) によって組成比を制御できることがこれまでの研究により示されている (Table 1) [2]。

Table 1. Controlled composition ratio by the electrode sequence.

No.	電極配列 P1-P2-P3	原子量比 [%]					
		中央			端部		
		Ti	Fe	Zr	Ti	Fe	Zr
10	Zr-Ti-Fe	50	33	17	48	32	20
11	Zr-Fe-Ti	16	55	29	16	46	39
12	Ti-Zr-Fe	0	34	65	0	37	63
13	Ti-Fe-Zr	5	86	8	2	60	38

しかし、この成膜法では組成比制御や混合比の厚さ方向の制御に限界がある。本研究では、MCIA を複数用いた成膜方法の開発を行い混合薄膜の生成及び多層薄膜の生成を目指す。

2. 実験装置

本実験装置では、Figure 2 に示すように、基板に対する入射角度が $\pm 22.5^\circ$ となるように 2 基の MCIA を配置している。この配置により、Figure 2 (a) に示すように片方の MCIA で任意の厚みを有する薄膜を形成した後、もう一方の MCIA による薄膜を形成することが可能となり、異なる原料による薄膜層を形成し、膜厚方向の組成比制御が可能であると考えられる。また Figure 2 (b) のように 2 基の MCIA からそれぞれ射出したプラズマを衝突させ、輸送する製膜原料イオンを混合することで、混合薄膜の生成も可能だと期待される。

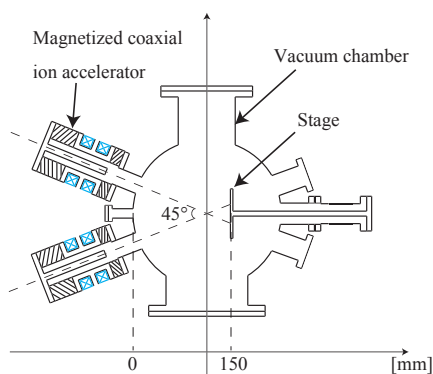


Figure 2. Schematic of new film formation device.

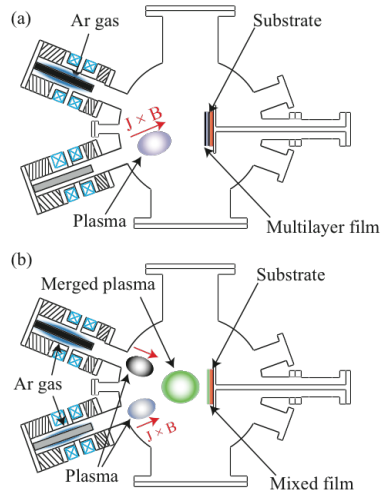


Figure 3. Schematic diagram of (a) multilayer film generation process and (b) mixed film generation process.

これまでの MCIA での放電回路では Figure 4 (a) に示すように振動電流を抑制するための 0.1Ω の抵抗が挿入されていた。しかし、挿入した抵抗によるジュール熱損失により薄膜生成効率が制限されていた。今回 2 基の MCIA では Figure 4 (b) に示している放電回路を採用している。電極間電圧を増大させたことによるイオンの入射エネルギーの上昇が期待される。また、多混合薄膜を生成する際にはメインスイッチの点弧時

間をマイクロ秒のオーダーで制御する必要がある。そこで今回は、タイマーIC を用いた制御回路の開発を行った。なお、メインスイッチは始動時にジッターが発生するため、放電電流をモニターしクローバースイッチを同期させて制御する。

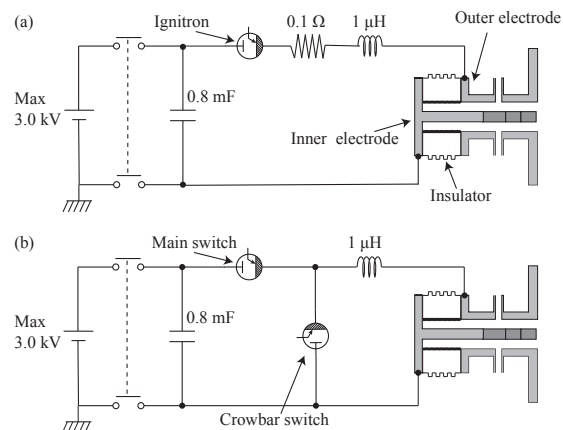


Figure 4. Schematic of (a) discharge circuit for MCIA and (b) discharge circuit with a crowbar switch.

クローバー回路を用いた典型的な放電波形を Figure 5 に示す。

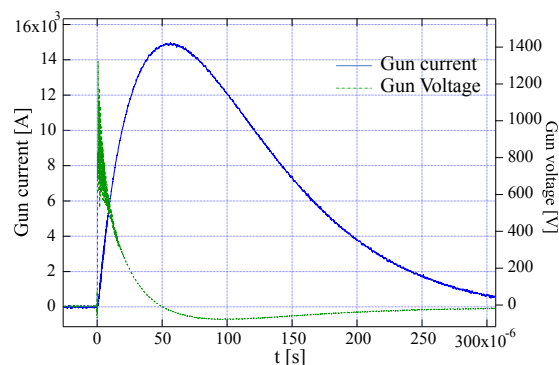


Figure 5. Time evolution of gun current and voltage.

3. まとめ・今後の展望

本研究では、2 基の MCIA を用いた新たな成膜方法の確立を目指し、放電回路と制御系の開発を行った。今後は、タイマーIC による遅延時間の調整をし、メインスイッチの制御から多層・混合薄膜の生成を行う予定である。

4. 参考文献

- [1] 高原一樹, 藤井博文:「AIP 法における装置技術の展開」, 神戸製鋼技報, Vol. 50, No. 2, 2000.
- [2] 高津幹夫:「電磁加速を用いた合金薄膜生成における粒子輸送・堆積特性の検証」, 日本大学大学院理工学研究科物理学専攻修士論文 2013.