

国立研究開発法人 産業技術総合研究所 九州センター 製造技術研究部門 〒841-0052 佐賀県鳥栖市宿町807-1
 本村 大成 (t.motomura@aist.go.jp)、田原 竜夫 (t-tabaru@aist.go.jp)

研究の概要

マグネトロンカソードを用いると、ターゲット上にドーナツ型のプラズマ閉じ込め領域ができる

→ ドーナツ型領域により、ターゲット利用率が低くなり、ターゲット交換コストが増加する

→ B_z 磁場強度が大きい領域をターゲット面上に伸長させればターゲット利用率が増加する

→ **ターゲット上に磁気ミラーを配置すればよい**

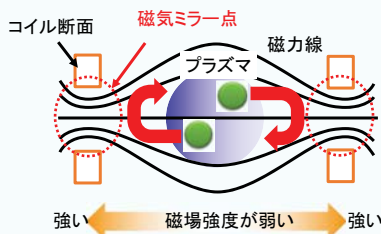


図1: 磁気ミラーの概念図

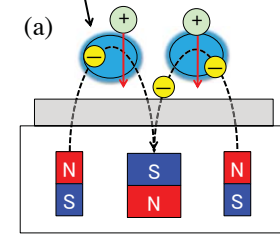
プラズマは磁気ミラー点で反射し、磁場の弱い領域に閉じ込められる。プラズマがより閉じ込められれば、低電力運転が可能になる。また基板へのイオン衝撃が抑えられるため、平坦な膜生成および自然な配向膜の成長が期待できる [1]。

プラズマ生成効率が低い=低ガス圧力領域で運転可能となるため、高速・高品質スパッタが実現される。

[1] E. Terzini, P. Thilakan, and C. Minarini, Mater. Sci. Eng. B 77, 110 (2000).

従来のマグネトロンカソード

ドーナツ型のプラズマ閉じ込め領域



長時間使用後



図2(a) 従来のマグネトロンカソードの概略、(b)マグネトロンカソードの使用により、ドーナツ状に侵食されたターゲット表面の例。

本提案 (マグネトロン磁場+磁気ミラー)

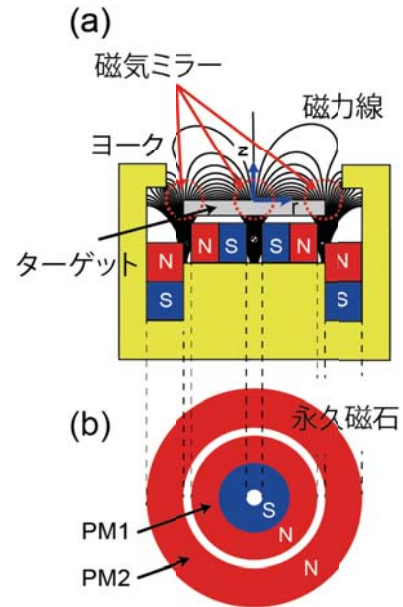
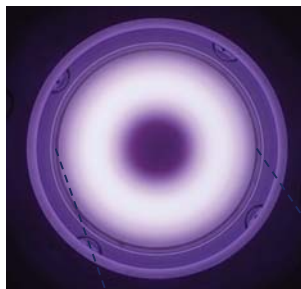


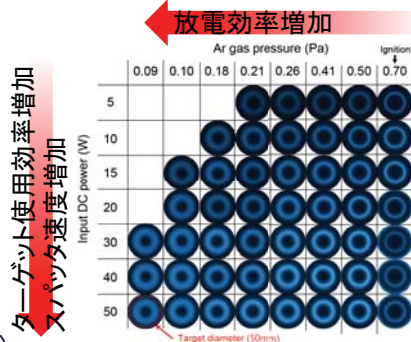
図3(a) シミュレーションにより見出したマグネトロンカソード構造の概略、(b)マグネトロンカソード内に配置する磁石配向の概略

実験結果

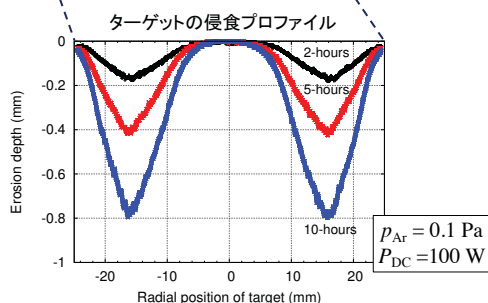
放電時の写真(カソード上部より撮像)
 $P_{Ar} = 0.1 \text{ Pa}$, $P_{DC} = 15 \text{ W}$



成膜速度 $\sim 0.2 \text{ nm/min}$
 電力密度 $\sim 0.75 \text{ W/cm}^2$
 ターゲット基板距離 280 mm



プラズマ放電光の p_{Ar} , P_{DC} 依存性
 干渉フィルタ(中心波長 $488 \text{ nm} \pm 10 \text{ nm}$, Edmund Optics)
 → 自発光波長 488 nm は電子密度に比例[2,3]
 [2] D.D. Blackwell and F.F. Chen, Plasma Sources Sci. Technol. 6, 509 (1997).
 [3] D. Samsonov and J. Gorec, IEEE. Trans. Plasma. Sci. 27, 76 (1999).



低圧放電で放電領域がターゲット外縁部付近に伸張
 → ターゲット使用効率が 50% まで向上(従来比 $\sim 10\%$ 増)

本研究と先行研究(DCスパッタとパルススパッタ)の比較

	電力密度	ガス圧力(流量)
M3C (our research)	0.25-2.5 W/cm ²	0.1-0.7 Pa (7-47 sccm)
Vergöhl et al. [4]	0.23-8.7 W/cm ²	60-120 sccm
Mathieu et al. [5]	1-16 W/cm ²	35-200 sccm
Saringer et al. [6]	4.4-34 W/cm ²	$\geq 50 \text{ sccm}$
Sillassen et al. [7]	$\sim 1.4 \text{ W/cm}^2$ (pulsed discharge)	0.5 Pa ($\sim 10 \text{ sccm}$)
Posadowski (WMK-50) [8]	$\leq 300 \text{ W/cm}^2$ (pulsed discharge)	$\sim 0.25 \text{ Pa}$
Bleykher et al. [9]	1-8 W/cm ² (period averaged value, pulsed discharge)	0.2 Pa

- DCスパッタ間の比較において十分に低い電力密度放電を実現
- 0.5 Pa 以下の低ガス圧放電を実現できるパルススパッタ法と比較しても同程度のガス圧力

→ **低ガス圧力・低電力密度運転の実現は磁気ミラー構造に依る**
 [4] M. Vergöhl, N. Malkomes, B. Szyszka, F. Neumann, T. Matheé, and G. Brüner, J. Vac. Sci. Technol. A 18, 1632 (2000). [5] C. Mathieu, M.J. Hadley, and V.R. Inturi, J. Appl. Phys. 103, 07E715 (2008). [6] C. Saringer, R. Franz, K. Zorn, and C. Mitterer, J. Vac. Sci. Technol. A 34, 04E1517 (2016). [7] M. Sillassen, P. Eklund, M. Ströberg, N. Pryds, N. Romo-Insua, and J. Botlinger, J. Appl. Phys. 105, 104907 (2009). [8] W.M. Posadowski, Vacuum 46, 1017 (1995). Thin Solid Films 392, 201 (2001). [9] G.A. Bleykher, A.O. Borduleva, V.P. Krivobokov, and D.V. Sidelev, Vacuum 132, 62 (2016).

まとめ

ターゲット利用率の優れた
 磁気ミラー構造を持つマグネトロンカソードの提案

- 50% の高いターゲット使用効率(従来比 $\sim 10\%$ 増)
 - 0.1 Pa での持続放電 ($\sim 0.75 \text{ W/cm}^2$ 以上)を確認
 - 低電力密度運転 ($\sim 0.25 \text{ W/cm}^2$ 、 $P_{DC} = 5 \text{ W}$ まで)を確認
- 他のDCスパッタやパルススパッタの条件と比べても実用に足る動作

<アルミ成膜テスト>

電力密度 $\sim 0.75 \text{ W/cm}^2$, Ar ガス圧力 0.15 Pa, TS距離 280 mm において、成膜速度 $\sim 0.2 \text{ nm/min}$ を確認(アルミターゲット: $\phi 50 \text{ mm}$, 5 mm 厚、基板: Eagle XG® (10 × 10 × 1.1 mm, Corning))