

高速・高品質スパッタリングカソード



産業技術総合研究所 製造技術研究部門 本村大成、田原竜夫

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ため、電力投入効率が良い高速スパッタが実現できる

→ 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してしまう

→ ターゲット利用率を増加させるためには B_r 磁場強度が大きい領域をターゲット面上に伸長させる必要がある。

→ **磁気ミラー点をターゲット上に配置したマグネトロン磁場配位を提案する。**

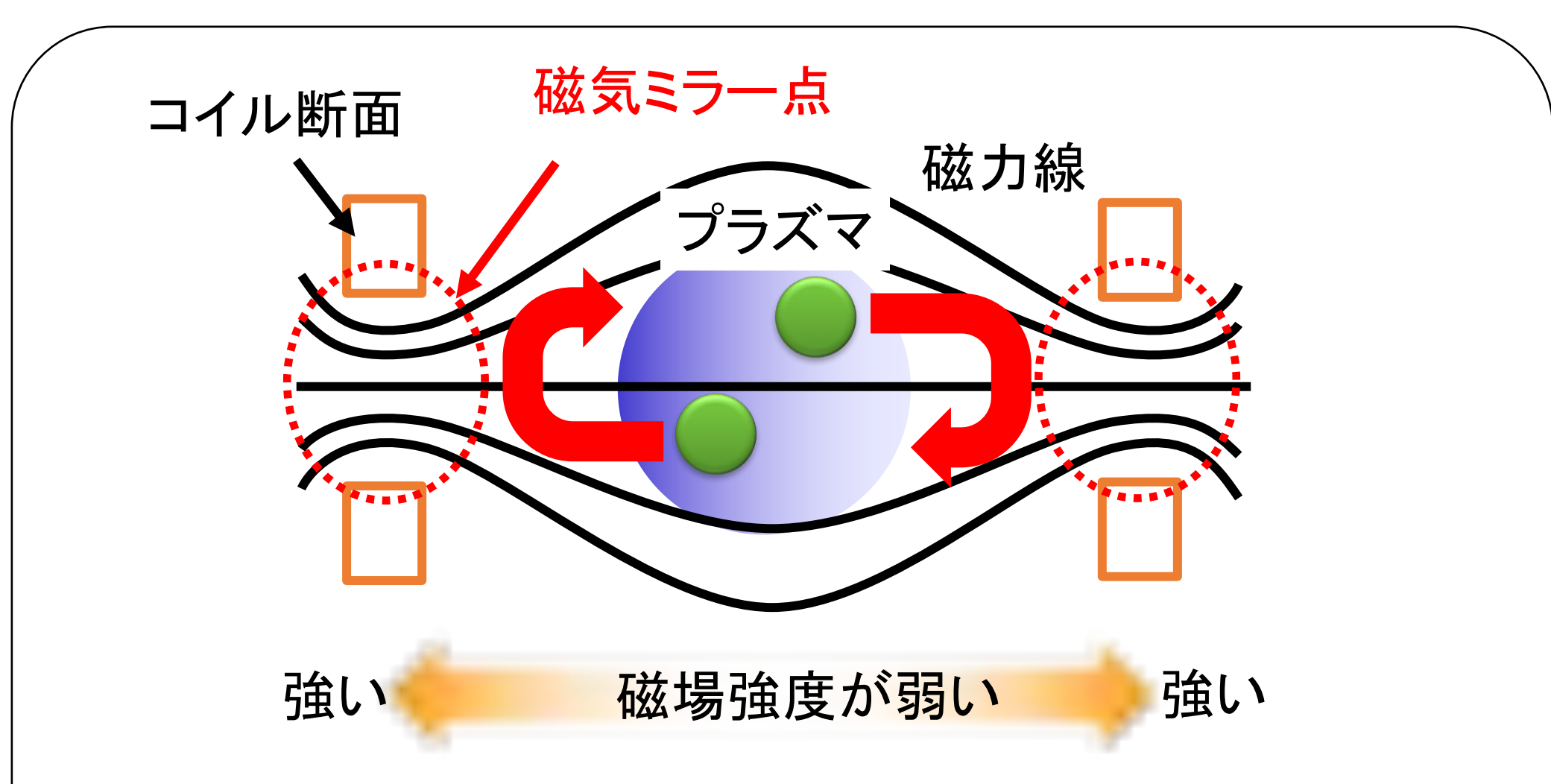


図1: 磁気ミラーの概念図

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。プラズマ閉じ込め効果が向上すれば低電力運転が可能になり、イオン衝撃を抑えられるようになるため、平坦な膜生成および膜自身が選択する配向の膜成長が期待できるようになる [1]。さらに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。

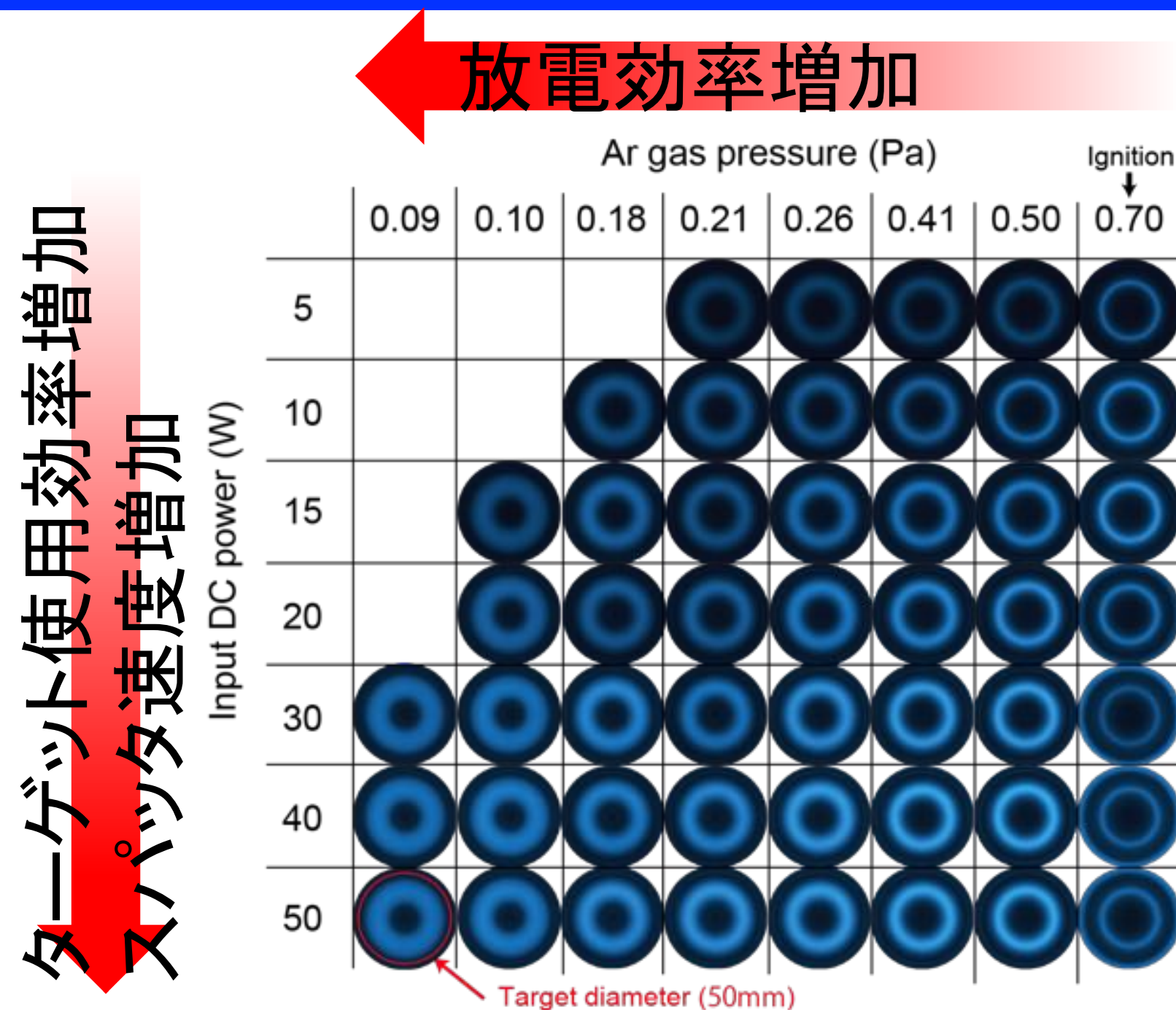
| 従来のマグネトロンカソード | 本提案 (マグネトロン磁場+磁気ミラー) |
|---|---|
| <p>ドーナツ型のプラズマ閉じ込め領域</p> <p>長時間使用後</p> | <p>(a) 磁気ミラー</p> <p>永久磁石</p> <p>PM1</p> <p>PM2</p> |
| <p>図2(a) 従来のマグネトロンカソードの概略、(b)マグネトロンカソードの使用により、ドーナツ状に侵食されたターゲット表面。</p> | <p>図3(a)磁場計算により見出したマグネトロンカソード構造の概略、(b)マグネトロンカソード内に配置する磁石配向の概略</p> |

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 nm ± 10 nm, Edmund Optics)
 → 自発光波長 488 nmは電子密度に比例[2,3]

**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の向上が期待**

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 | ≥ 50 sccm |
| Sillassen et.al. [7] | $\sim 1.4 \text{ W/cm}^2$ (pulsed discharge) | 0.5 Pa (~ 10 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ものと考察**

まとめ

磁気ミラー構造を持つマグネトロンカソードの新規提案

低ガス圧力運転時に、放電領域がターゲット外縁部まで伸張

→ ターゲット使用効率の向上が期待(現在評価中)

- 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))

参考文献など

[1] E. Terzini, P. Thilakan, and C. Minarini, Mater. Sci. Eng. B 77, 110 (2000).
 [2] D.D. Blackwell and F.F. Chen, Plasma Sources Sci. Technol. 6, 569 (1997).
 [3] D. Samsonov and J. Goree, IEEE. Trans. Plasma. Sci. 27, 76 (1999).
 [4] M. Vergöhl, N. Malkomes, B. Szyszka, F. Neumann, T. Mattheé, and G. Bräuer, 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.n Zorn, and C. Mitterer, J. Vac. Sci. Technol.A 34, 041517 (2016).
 [7] M. Sillassen, P. Eklund, M. Sridharan, N. Pryds, N. Bonanos, and J. Böttiger, 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).

連絡先:

〒841-0052 佐賀県鳥栖市宿町807-1

国立研究開発法人 産業技術総合研究所 製造技術研究部門

本村 大成 (t.motomura@aist.go.jp)、田原 竜夫 (t-tabaru@aist.go.jp)