

HiPIMS-高密度金属プラズマが拓く未来

HiPIMS-The future of materials processing created by high-density metal plasma

茨城大院理工 池畑 隆

Ibaraki Univ., T. Ikehata (E-mail: tikehata@mx.ibaraki.ac.jp)

従来の dc スパッタは、電離度が 1%以下で本質的に真空蒸着や MBE と変わらない(粒子エネルギーは異なる)。一方 HiPIMS では、過渡的とは言え、数百〜千ガウスの磁場中に密度 10^{20}m^{-3} 、電離度数%に達する高密度・高電離度金属プラズマが生成される。HiPIMS は、I プラズマ生成、II プラズマ輸送、III 堆積の各ステージ (Fig. 1) でプラズマの集団的効果を考慮する必要のある、プロセスプラズマとしては希な例であると言える。HiPIMS は基板バイアスでイオンエネルギーを制御できるので、成膜にイオンビーム蒸着と同等のフレキシビリティを有する。高密度プロセスプラズマの新たな物理と応用を拓く興味深い素材として、HiPIMS 研究は急速に広がっている。本講演では、HiPIMS プラズマに特徴的な現象を列挙し、その解明に向けた最近の研究事例を紹介する。また、期待される応用に触れる。

I プラズマ生成領域 (陰極降下・負グロー)

・電子ホール電流 負グロー領域のプラズマ電子は直交する陰極降下電場と MS 磁場の作用でプラズマリングに沿って $\mathbf{E} \times \mathbf{B}$ ドリフトを行う。一方イオンのドリフト速度は小さい(有限ラーモア半径効果)。正味電子ドリフトによる方位角方向電流 J_ϕ が流れる。

・自己スパッタ スパッタされた金属原子がイオン化された後、陰極に向かって再加速され、新たなスパッタに寄与することを言う。発生条件は、 $\alpha\beta\gamma \geq 1$ である。ここで、 $\alpha(<1)$ は金属原子のイオン化率、 $\beta(<1)$ は金属イオンがターゲットに戻る割合、 $\gamma(>1)$ は金属イオンのスパッタ率であ

る。堆積に寄与するイオンの割合は $1-\beta$ であるため、自己スパッタは堆積レートを下げる。

II プラズマ輸送領域

・磁場を横切るプラズマ輸送 プラズマ粒子は MS の磁場を横切って基材まで輸送される。中性粒子との衝突が頻繁であれば拡散が支配的である。衝突頻度が低い($\lambda_c / \rho > 1$, λ_c 平均自由行程、 ρ 粒子旋回半径)場合に、プラズマ不安定性による異常輸送が考えられている。不安定性はプラズマ-磁場インターフェースにおける電子の反磁性ドリフトおよび ∇B ドリフトで励起される。

III 堆積領域

・膜の付まわり 基材に負バイアスを加え、イオンを引き込むことで 3 次元形状基材表面にも一様な成膜が可能となる。

・イオンエネルギー制御 基材に負バイアスを加え、入射イオンのエネルギーを制御することで、密度や付着強度、結晶性など、膜質を制御することが可能になる。以上 2 点は、dc スパッタに優る利点と言える。

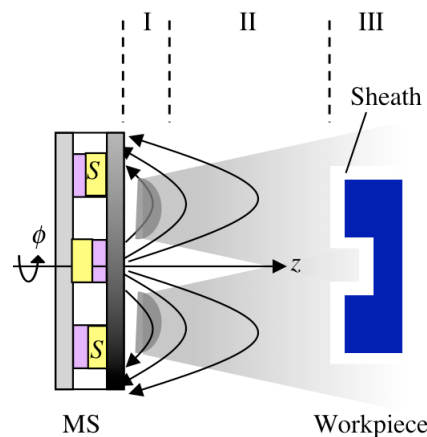


Fig. 1 HiPIMS のプラズマ領域、I、II、III