

高周波マグネトロン放電の自己バイアス  
(ターゲット電極への電子流入に対する磁場の影響)Self-bias Voltage of RF Magnetron Discharge  
-Effects of Magnetic Field on Electron Flow into the Target Electrode-

○米村 茂, 東北大・流体研, 仙台市青葉区片平 2-1-1, E-mail: yonemura@ifs.tohoku.ac.jp  
南部健一, 東北大・流体研, 仙台市青葉区片平 2-1-1, E-mail: nanbu@ifs.tohoku.ac.jp

Shigeru Yonemura, Institute of Fluid Science, Tohoku University, Katahira 2-1-1, Aoba-ku, Sendai  
Kenichi Nanbu, Institute of Fluid Science, Tohoku University, Katahira 2-1-1, Aoba-ku, Sendai

We examine the self-bias voltage in RF magnetron discharges by performing PIC/MC simulations. In the case when the magnets are shrunk, more electrons are reflected before reaching the powered electrode due to the stronger mirror effect, therefore the self-bias voltage increases in such a way that the decrease of electrons incident on the electrode is compensated. In the case when the magnetization is strengthened, the reflection plane of an electron due to the mirror effect is unchanged, but the gyration radius becomes small. Therefore, it becomes more difficult for electrons to reach the powered electrode and the self-bias voltage increases.

## 1. 緒言

スパッタリングなどの半導体製造工程に用いられる高周波マグネトロン放電では電源電極に直流電流が流れず、自己バイアス電位が発生する。プラズマと自己バイアスの電位差によって正イオンが加速されターゲット電極(電源電極)を叩くため、自己バイアスを支配する因子の解明は重要である。前報<sup>(1)</sup>ではPIC/MCシミュレーションにより、磁場を強くすると自己バイアスが高くなることを示した。このことは実験でも報告されており、電極に平行な磁力線周りを旋回する電子の旋回半径の減少によって電子の入射が制限されるためと説明されてきた。しかし、電子が電極に入射するのは磁石付近であり、ここでの磁力線は電極に垂直あるいは斜めであるため、上述の理由で説明できない。本研究では磁石付近の集束磁場のミラー効果によって電子の入射が制限されていると考え、この影響を調べる。

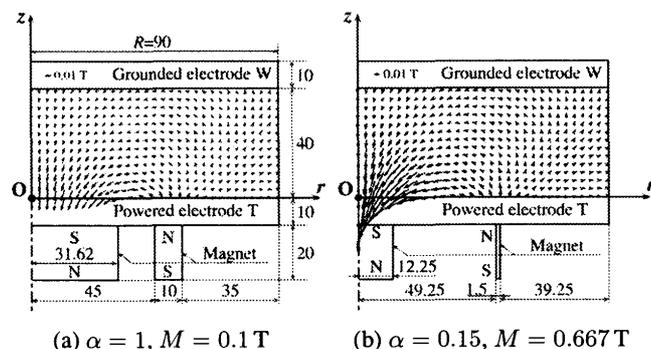


Fig. 1 Schematic of a sputtering apparatus.

## 2. 計算方法

装置図を Fig. 1 に示す。数値の単位は mm であり、計算領域は二つの電極間の空間である。電源電極の裏に配置した二つの同心円筒型永久磁石により軸対称磁場が形成される。Fig. 1(a) は基本ケースを示しており、永久磁石の磁化  $M$  は 0.1 T である。集束磁場のミラー効果によって反射される電子数が増加すれば、電子流入量の減少を補って、イオン流入量とつり合うように自己バイアスが高くなると考えられる。本研究ではミラー効果の自己バイアスへの影響を調べるために、Fig. 1(b) に示すように磁荷量を一定に保ちながら、磁石の幅を縮め、磁場の集束を強くした。磁石の磁極面積収縮率を  $\alpha$  とすると、磁化の強さは  $M = 0.1/\alpha$  T と与えられる。電極と平行な磁場の強さはほとん

ど変化しないので、集束磁場の影響のみを調べることができる。電源電極の電位は  $V_{\text{target}}(t) = V_{\text{dc}} - V_{\text{rf}} \cos 2\pi ft$  で与えられ、ここで  $V_{\text{rf}} = 200$  V,  $f = 13.56$  MHz である。放電には 5 mTorr, 323 K のアルゴンを用いた。詳細は文献 2 を参照されたい。

## 3. 結果および考察

基本ケースの磁場形状で磁化を 1.4 倍にした場合と磁石の面積を 0.15 倍まで縮めた場合の時間平均電子数密度はともに基本ケースより高くなり、そのピーク値がほぼ一致した。また自己バイアスもともに 52 V となり、基本ケースの 34.8 V より高くなった。このことから集束磁場のミラー効果が電子の入射を阻害して、自己バイアスに影響を与えることが明らかになった。しかし、磁化を強めた場合に自己バイアスが高くなるのは、ミラー効果が強くなるためではない。集束磁場中で旋回する電子が一旋回の間平均的に受ける力は磁場形状が同じであれば、その強弱にかかわらず一定になる。 $M = 0.1$  の場合と  $M = 0.14$  の場合の電子の軌道を Fig. 2 に示している。 $M = 0.1$  の場合には電源電極に到達したが、 $M = 0.14$  の場合には到達せずに反射された。 $M$  をより強くした場合にも  $M = 0.14$  の場合と同じ平面で反射される。電源電極に入射できるかどうかは、反射平面に到達したときの旋回半径の大きさに依存している。磁場が強い場合には旋回半径が小さくなるので、電源電極に接触せずに反射され、入射電子の減少を補うように自己バイアスが高くなる。

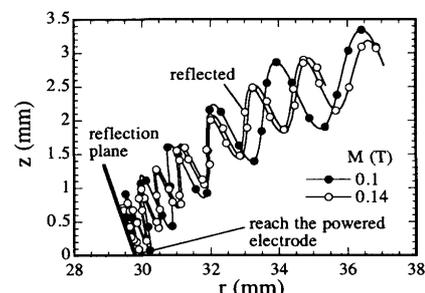


Fig. 2 Change of electron trajectory due to change of magnetic field density.

## 参考文献

- (1) Yonemura, S., and Nanbu, K., to be published in Thin Solid Films.
- (2) Yonemura, S., and Nanbu, K., IEEE Tran. Plasma Sci., 31, (2003). pp. 479-487.