

円筒キャビティと固体アンプを用いたマイクロ波プラズマ生成Ⅲ

Microwave Plasma Generation Using Cylindrical Cavity and Solid-State Amplifier III

中部大工¹, アプライドマテリアルズ², 名産研³, [○]長谷川雄一¹, 小川大輔¹, 中村圭二¹,
スーナムパーク², 小林 理², 菅井秀郎³

Chubu Univ.¹, Applied Materials², NISRI³ [○]Yuichi Hasegawa, Daisuke Ogawa¹, Keiji Nakamura¹,
Soonam Park², Satoru Kobayashi², Hideo Sugai³

E-mail: hase589406@gmail.com

1. はじめに

マイクロ波プラズマ生成に通常用いられるマグネトロン発振器の代わりに、デジタル発振器と固体アンプを利用して周波数や位相を変えて円筒キャビティにマイクロ波を入射する方式を開発している。前回は *Dual Injection* によって TE_{111} モードをキャビティ内で GHz 帯の周波数で高速回転させプラズマを均一化する技術を報告した。今回は、プラズマが追従できる 1~1000 Hz で低速回転させる方法を開発したので報告する。

2. 実験装置・方法

Fig.1(b)のように、円筒キャビティの 90° 離れたポート P と Q から、 TE_{111} モードに共振するマイクロ波 (~2.45 GHz) を同時入射する。この2つの入射パワーを位相 $2/\pi$ の低周波で振幅変調し電磁界を低速回転させる。Fig.1(a)のようにキャビティ底面のスロットからマイクロ波を放射してプラズマを生成し、下の観測窓からプラズマ発光分布を観測する。

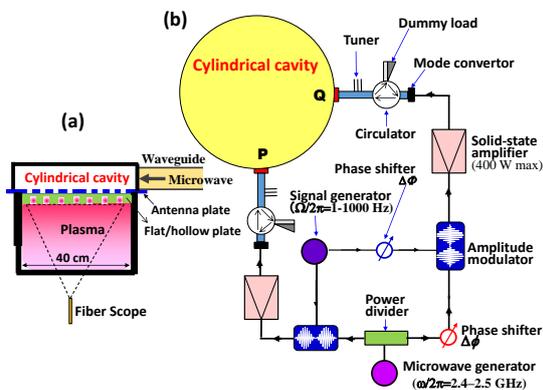


Fig. 1. Microwave system.

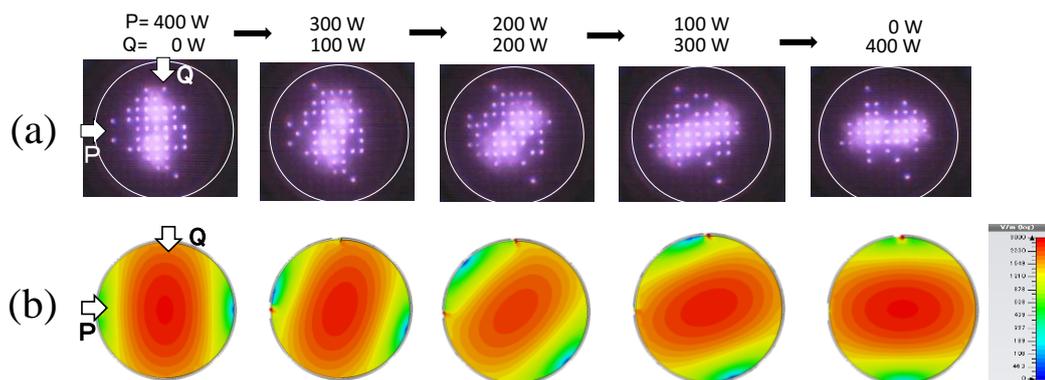


Fig. 2. (a) Plasma image and (b) cavity field for *dual injection* with different power ratios.

3. 入射パワー比による回転

ポート P, Q から入射するパワー ($\omega/2\pi=2.52$ GHz) を $P\sin \omega t$, $Q\sin \omega t$ とするとき、全電力 ($P+Q$) を 400 W 一定に保ちながら P と Q の割合を変え、アルゴン圧力 3 Torr で放電させたプラズマの発光写真を Fig. 2(a) に示す。左から順に、P に対する Q のパワーの比を増やしていくと、プラズマの発光パターンが時計回りに回転することが分かる。これはキャビティ内の共振電界 (TE_{111} モード) が回転するためであることが、下の Fig. 2(b) に示す電磁界シミュレーションの結果から確認できる。

この回転機構は次のように理解できる。左端の図は P だけから 400 W 入射して電界は Y 軸方向を向いており、右端の図は Q だけから 400 W 入射して電界は X 軸方向を向いている。従って中心の図の P, Q から 200W ずつ入射したときの合成電界は X 軸から 45° 傾くことになる。

4. 振幅変調による回転

次にポート P, Q から入射するパワーを

$$P = A(1 + \mu \cos \Omega t) \sin \omega t \quad (1)$$

$$Q = A[1 + \mu \cos(\Omega t + \Delta\Phi)] \sin \omega t \quad (2)$$

のように周波数 Ω 、変調度 μ で振幅変調する場合を考える。変調の位相差が $\Delta\Phi = \pm\pi/2$ のとき、キャビティ内の TE_{111} モードの電磁界が軸の周りに変調周波数で回転することが解析的に示される。この回転の周波数は任意である ($\Omega < \omega$) が、実際にプラズマを回転させるには、電離・拡散等の応答時間を考慮して $\Omega/2\pi = 1\sim 1000$ Hz の低周波になるとと思われる。

講演では、キャビティ内の電磁波やプラズマの発光パターンが変調周波数で実際に回転する動画も紹介する。