ECR プラズマ源のしきい値

正 員 池沢俊治郎・非会員 石崎 芳明・非会員 山住 富也 (中部大)

ECR プラズマ源はそのプラズマ生成の容易さから半導体プロセスにも応用されようとしている⁽¹⁾。本報告では用いられている ECR プラズマ源⁽²⁾の放電破壊しきい値を求めた。

図 1 に実験装置を示す。真空容器 (1mφ×2m) の内に円筒導波管 (TE₁₁ モード) とかが形容器とが入っており、周囲をフェライト磁石 (表面の強さ 2KG) で囲み⁽³⁾、導波管部で ECR プラズマを生成する。アルゴンガスを使用する。磁界の強さは中心部 (R=0) で 850G, 内壁部 (R=R₀) で 970G である。マイクロ波は周波数 2.45GHz, 出力 600W のマグネトロンから発振する。その波形は商用周波 60Hz の半波整流に近い。共鳴を生じるのは B₀=876G ではば R=R₀/2 の位置である。プローブ (R=R₀/2, Z=0 に配置) のイオン電流 I_i が零になるときのガス圧に対し P_{ab} (入射電力-反射電力) と E を求める。一例を図 2 に示す。導波管の特性インピーダンスは、Z₀=538Ω であり、断面積を A とすると ECR 放電破壊しきい値電界 E は次式で求まる。

$$E = \sqrt{2Z_0 P_{max}/A} \dots \dots \dots (1)$$

ここで、P_{max}=πP_{ab} である。(1)式と図 2 から求めた実験値を○印で図 3 に示す。次に理論値を求める。ガス圧が低い場合、生成された電子は熱速度で管壁へ損失する。軸方向を Z 方向とし、電界方向を X 方向、両者に直角方向を Y 方向とすると、

$$Z \cdot \pi R_0^2 \cdot L \cdot n_e = (V_{ex} \cdot 2\pi R_0^2 + V_{ey} \cdot \pi R_0^2) \cdot n_e / 2 \dots \dots \dots (2)$$

$$V_{ex} = V_{ey} = V_{ex} / \sqrt{1 + (\omega_c / \nu)^2} \dots \dots \dots (3)$$

$$P = eE \cdot \text{Real}(V_x) / 2 \dots \dots \dots (4)$$

$$\text{Real}(V_x) = eElm \cdot \nu (\nu^2 + \omega^2 + \omega_c^2) / \{ \nu^2 + (\omega + \omega_c)^2 \} \{ \nu^2 + (\omega - \omega_c)^2 \} \dots \dots \dots (5)$$

$$P = Z \cdot eV_i \dots \dots \dots (6)$$

ここで、πR₀²L は共鳴体積を示す。V_{ex} は X 方向の平均電子速度、V_x は E_x で加速された電子の速度であり、ν は電子の中性ガスとの衝突周波数、ω_c は ECR 角周波数、Z と V_i は電離周波数と電離エネルギー (15.7V) である。(2)~(6)式より

$$E = [2\nu V_i \{ (\nu/\omega)^2 + (1+b)^2 \} \{ (\nu/\omega)^2 + (1-b)^2 \} / (e/m) (\nu/\omega) \{ 1+b^2 + (\nu/\omega)^2 \}]^{1/2} \times [1/L + 1/R_0 \sqrt{1 + (\omega_c/\nu)^2}]^{1/2} \sqrt{V_{ex}} \dots \dots \dots (7)$$

Threshold of ECR (Electron Cyclotron Resonance) Plasma Source. By Shunjiro Ikezawa, Member (Chubu University), Yoshiaki Ishizaki, Nonmember (Chubu University), & Tomiya Yamazumi, Nonmember (Chubu University).
池沢俊治郎：正員，中部大学工学部電子工学科
石崎芳明，山住富也：非会員，中部大学大学院学生

図 1 実験装置

Fig 1. Experimental setup.

図 2 イオン電流対ガス圧力

Fig. 2. Ion Current VS. Pressure.

図 3 ECR
放電のしきい
値 E

Fig. 3. Threshold value E of ECR breakdown.

ここで、b=ω_c/ω であり、V_{ex}=V_e/√3 (等方性を仮定し V_e=10eV を代入) として(7)式を計算し、図 3 に実線で示す。なお、横軸は ν を圧力に直してある。

ECR 放電破壊しきい値電界は数 10V/cm~100V/cm 程度で低い。その周波数は ω≅0.99~0.995ω_c と共鳴周波数より小さい。最後に、常に激励下さる本学武田進教授に感謝します。(昭和 62 年 2 月 6 日受付)

文 献

- (1) 河合：「大口径プラズマ」応用物理 54, 12, 1291 (昭 60)
- (2) Y. Sakamoto: "Measurement of Power Transfer Efficiency from Microwave Field to Plasma under ECR Condition" Jpn J. Appl. Phys. 16, 11, 1993 (1977)
- (3) 名村・塩見・杉村・板谷：「ECR プラズマの磁場形状依存性」電気学会プラズマ研究会 EP-85-6, 45 (1985)