

θ 放電による予備電離プラズマの生成過程の考察

Study of pre-ionized formation process using θ -discharge method

渡辺征一郎¹, 渡邊洋貴¹, 板垣宏知², 浅井朋彦¹, 高橋努¹

WATANABE Seiichirou¹ WATANABE Hiroki¹ ITAGAKI Hiroto² ASAI Tomohiko

¹ TAKAHASHI Tsutomu¹

¹日大理工, ²東大新領域

¹Nihon Univ, ²Tokyo Univ

1. はじめに

テーパピンチコイルに高周波電流を流し, 磁場を誘起させる. その磁場により発生する電場で粒子を加熱, 電離させプラズマを生成する方法が θ 予備電離法である. 使用されるバイアス磁場と予備電離用の磁場の振幅の比は一般的に 1:1 である. 本研究ではバイアス磁場の振幅を 0.032T, 減衰率を 1627s^{-1} , 周波数を 16700s^{-1} , 予備電離用の磁場の振幅を 0.16T, 減衰率を 55000s^{-1} , 周波数を 76600s^{-1} としており, バイアス磁場と予備電離用の磁場が約 1:5 に設定されている.

図 1 に典型的な放電波形を示す. 予備電離プラズマ生成のために印加する磁場の印加時間と予備電離プラズマの生成時間には時間差 (phase1) がある. 時間差は印加する磁場の強度や振動数により変化することが実験結果から分かった.

本研究では予備電離のフェイズをプラズマ生成前, 生成後磁場が正負に振動する時間, バイアス磁場が強くなっていく時間の 3 つのフェイズに分け, 各フェイズの物理的過程の考察を行う.

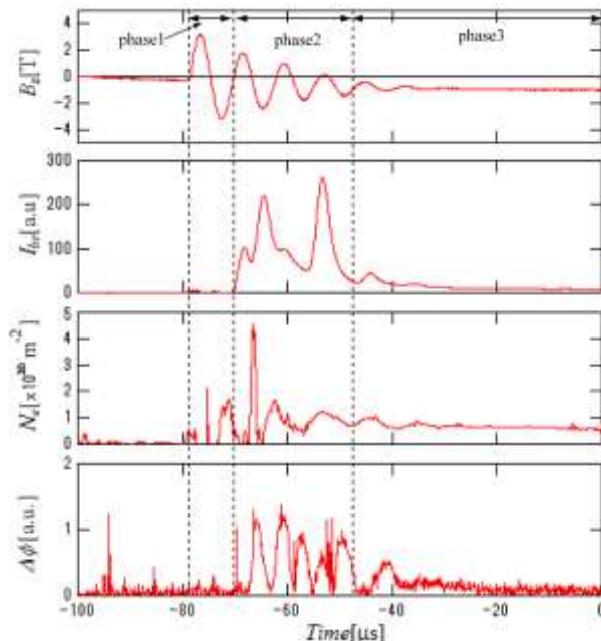


図 1 θ 予備電離過程中的各波形の時間的変化
(B_z :外部磁場波形 I_{br} :制動放射光線積分量
 N_e :線積分電子密度 $\Delta\phi$:排除磁束)

2. 解析・考察

phase1 では電子とガス粒子の平均自由時間内で単一電子が得る運動エネルギーを運動方程式

$$m\ddot{\mathbf{r}} = -q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) \quad (1)$$

を円柱座標系で考え解析した. 磁場は外部磁場を使用し, 電場はファラデーの法則から求めた,

$$\vec{E} = -d(r\vec{B})/dt \quad (2)$$

を使用した. 解析結果から, 放電管壁の電子ほど得る運動エネルギーが増加することがわかった. また, 図 2 の制動放射光の分布の時間発展より放電管壁から光の発生が起きることもわかった. プラズマ生成後過程の phase2 の始めでは電子の得る運動エネルギーが電離閾値になるとプラズマの生成が放電管壁から始まり, このプラズマが予備電離プラズマを生成するきっかけになることがわかった.

phase2 で線積分電子密度の測定からプラズマが生成されていることがわかった. このフェーズでは, 生成されたプラズマの内部磁場と外部磁場の境界に電流が発生する. 発生した電流と磁場により電子が加熱され電離が進行し予備電離プラズマが生成されると考えられる. phase2 は予備電離プラズマの生成が行われ, 電子密度が増加していくことが推測できる.

phase3 ではバイアス磁場が強くなるにしたがい磁気圧が上昇し, 中心に圧縮されていくことが図 2 の制動放射光の分布の時間変化から予想できる.

本研究は日本大学理工学部応用科学研究助成金の助成を受けている.

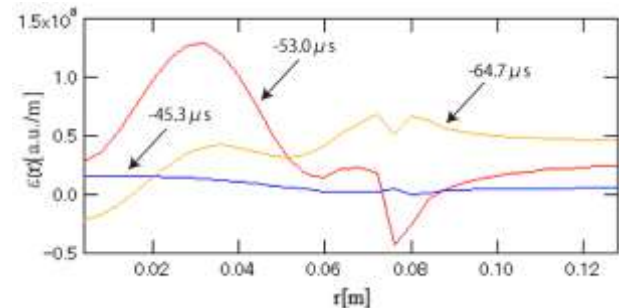


図 2 制動放射光強度 $\epsilon(r)$ の時間発展
(橙: phase2 の初期分布 赤: phase2 の後期分布
青: phase3 の分布)