負性氣体의 電流成長過程의 解析

A Study of the Spatial Growth of pre-breakdown Ionization Current in Electronegation gas

白 龍 鉉 (仁荷大工大 電氣工学科 教授)

◎概 要

從來부터 電離係数의 測定에 関連해서 破壞前驱의 暗流의 空间成長 過程의 研究가 많이 행해지 왔다.

特히 付着現象이 存在하는 負性氣体에 있어서는 定常法에 依해서 觀測된 電流電極间隙長 (I - d) 特性으로 直接 第一電離係数 α, 付着係数 η 等을 求하는 方法으로써 curve fitting 法과 Sukhum의 方法이 널리 利用되어 왔다.

前者는 먼저 Townsend의 理論式에 나타나는 未知数 α, η 等을 適当히 定해놓고 이것을 初期值로 하여 逐次近似法에 依해서 Townsend의 理論式을 觀測한 (I-d) 特性에 接近시키는 方法인데 收束性에 큰 问題가 있다. 한편 後者는 任意의 2点의 觀測值 (I., d)

(I_2, d_2)를 基本으로 하여 Townsend의 理論式의 未知数 α, η 等을 決定하는 補間法인데 觀測誤差를 除去시킬수가 없으므로 2点을 選択하는데 따라서 求하는 α η 等이 크게 散発되는 欠点이 있다 그外에도 이 두方法은 α, η 等의 誤差를 严密하게 評価하기는 困難한 問題이다.

本 研究에 있어서는 새로히 α η 等을 보다 正確하게 簡單히 求할수가 있고 또한 誤差를 評価할 수 있는 한 方法으로써 Townsend의 電流成長式을 ($I_{d+\Delta d}$, I_d)의 関係式으로 線形化시킨다음 最小自乘法을 適用시키는 方法을 提案한다.

다음 從来觀測되어있지 않은 比較的 높은 E/p 領域을 觀測하기 위하여 $30 < E/p_0 < 200$ (V/cm Torr) [E: EP加電界, p_0: 0°C로 換算한 氣体压力] 範囲의 酸素와 空氣 및 $50 < E/p_0 < 400$ (V/cm.Torr) 範囲의 SF_6에 対해서 暗流의 空間成長을 測定하여 本研究가 提案한 線形化 最小自乘法에 依해서 이것을 解析하여 有効電離係数 $(\alpha-\eta)/p_0$를 求하였다

그런데 破壞開始前의 暗流의 飽和特性은 氣体에 따라서 여러 形態가있어 測定한 (I-d) 特性으로 初期電

流値 I_0를 求하기는 大端히 困難한 問題이다. 그러므로 本 研究에 있어서는 I_0의 값을 包含하고 있는 α/p_0, η/p_0의 값은 求하지 않고 $(\alpha-\eta)/p_0$의 값만을 求하였다.

그 結果 $(\alpha-\eta)/p_0$는 酸素에 있어서 Blair, Whittington 氏 및 Frost, Fisher 氏의 測定値 또 空氣에 있어서는 Harrison 氏의 測定値 SF_6에 있어서는 Bhalla, Craggs 氏의 測定値와 거의 一致를 보았다.

◎ 電流成長式의 線形化의 方法

衝突電離와 電子付着이 共히 存在하는 負性氣体에 있어서 γ 作用等의 二次作用이 나타나는 高 E/p 領域을 除外하고, 또 負 ion 에서 電子分離가 無視되는 경우, 定常状態에 있어서 電流의 空間成長式은

$$I_d = \frac{I_0}{\alpha-\eta}\left(\alpha e^{(\alpha-\eta)(d-d_0)} - \eta\right) \qquad (1)$$

로 주어진다. 여기서 α, η는 各々 場所에 依存치 않는 一次 電離係数, 付着係数이고, d_0는 電子의 Energy 分布가 平衡을 이룰때의 陰極부터의 距離, d는 電極間隙長, I_0는 距離 d_0에서의 電流를 나타

넌다. 電極間隙長 d 와 $d+\Delta d$ 의 電流를 I_d, $I_{d+\Delta d}$ 라 하면

(1) 式에서

$$I_{d+\Delta d} = AI_d + B \text{ ----------- } (2)$$

가 된다. 但

$$A = e^{(\alpha-\eta)\Delta d} \text{ ----------- } (3)$$

$$B = \frac{\eta}{\alpha-\eta}\left(e^{(\alpha-\eta)\Delta d} - 1\right) I_0 \text{ --- } (4)$$

따라서 (1) 式의 ($I-d$) 特性은 (2) 式의 ($I_{d+\Delta d}$, I_d) 特性으로 变換되므로써 線形化되고 이 線形方程式 (2) 의 定数 A, B 는 觀測한 ($I_{d+\Delta d}$, I_d) 特性에 最小自乘法을 適用시키므로써 쉽게 算出된다.

그러므로 上述한 A, B 에서 有効電離係数

$$\frac{\alpha-\eta}{p_0} = \frac{\ln A}{p_0 \cdot \Delta d}\left(1 \pm \frac{\varepsilon_A}{A \ln A}\right) \text{ -------- } (5)$$

가 求해진다. 여기서 ε_A 는 A 의 確率誤差이고 또 p_0, Δd 誤差는 大端히 적다고 하였다.

또 (1) 式의 I_0 가 既知이면 (3), (4) 式에서 α/p_0, η/p_0 는 $\frac{\alpha}{p_0} = \frac{\ln A}{p_0 \cdot \Delta d}\left\{1 + \frac{B}{(A-1)I_0}\right.$

$$\left. \pm \sqrt{\frac{B}{(A-1)^2 I_0} - \frac{1}{A \ln A}\left(1 + \frac{B}{(A-1)I_0}\right)^2 \varepsilon_A^2 + \frac{1}{(A-1)^2 I_0^2} \cdot \varepsilon_B^2}\right\}$$

$$\frac{\eta}{p_0} = \frac{\ln A}{p_0 \cdot \Delta d} \left\{ \frac{B}{(A-1) I_0} \pm \sqrt{\left(\frac{B}{A(A-1) I_0 \cdot \ln A} - \frac{B}{(A-1)^2 I_0} \right)^2 \varepsilon_A^2 + \left(\frac{\varepsilon_B}{(A-1) I_0} \right)^2} \right\} \quad \text{------------} \quad (6)$$

이고 ε_B 는 B 의 確率誤差 이다.