

N₂ 가스중에서 전자군의 수송계수 측정에 관한 연구

백 용 현*, 이 북 회*, 이 석 윤, 하 성 칠**
 인하대학교* 동국대학교**

A study on the measurements of the transport coefficients
 of the electron swarm in nitrogen gas.

Yong-Hyun Paek*, Bok-Heui Lee*, Seok-Yoon Lee[○], Sung-Chul Ha**
 Inha university* Dongkook university**

1. 서 론

전계가 가해진 기체중에서 하전입자가 주입된 직후의 입자군의 운동은 개개 입자의 주입초기속도에 영향을 받는데, 충분한 시간이 경과한 후에는 이의 영향이 없어져 입자군의 운동은 하전입자 및 기체종류에 기체의 밀도, 온도와 인가전계의 세기만에 의하여 결정된다. 이때 입자군은 유동평형상태에 있다고 한다.

중태에는 기체중의 하전입자수가 시간에 따라 변화하지 않는 입자수 보존의 상태로 주로 취급하여 왔으나 전리나 부착작용이 있으면 기체중의 하전입자의 수는 비보존적이 되므로 이들이 수송계수에 미치는 영향을 고려할 필요가 있다.

기체중에서 하전입자군의 수송계수를 측정하는 원리에는

- ① 비행시간법 (Time of Flight Method)
 - ② 펄스 타운젠트법 (Pulse Townsend Method)
 - ③ 정상 타운젠트법 (Steady State Townsend Method)
- 등이 있다.

펄스 타운젠트법은 입자군의 성질을 구성입자의 좌표에는 관계 없이 시간만의 함수로서 파악하는 것이며, 정상 타운젠트법은 평행판 간극의 음극에 외부에서 자외선 조사등의 방법에 의하여 연속적으로 초기전자를 공급하여 간극내에서 정상입자류를 형성시킨 후 간극길이만의 함수로서 수송계수를 관측하는 방법이다.

그러나 비행시간법은 입자군의 성장을 위치와 시간의 함수로서 파악하는 관측법으로 입자수비보존의 경우에도 입자군의 성질을 정확히 구할 수 있는 특징이 있다.

본 연구의 시료로 선택한 질소가스는 질소가스로 부터의 방사에 의한 고효율·대출력의 He + N₂ + CO 혼합기체 레이저 매질의 개발에 대한 관심이 대단히 크다.

따라서 본 연구의 결과는 기체 레이저 매질의 개발에 관한 기초 연구로서 이들이 에너지분포함수, 운동량변환 충돌단면적의 산출에 대한 기초량으로서 이용될 수 있으며, 전자군의 수송현상, 기체방전, 플라즈마물리, 레이저물리 등의 이해에 도움이 될 것이다.

2. 이 론

전자군의 성장을 위치와 시간의 함수로서 표시하는 비행시

간법과 수송계수와의 관계를 알아본다.

전자군의 드리프트방향을 Z축으로 하여 시간 t=0에서 음극(Z=0)을 #함수적으로 출발한 전자는 확산하면서 평등전계중을 양극(Z=L)을 향하여 이동한다.

이 관계를 그림 1에 도식적으로 나타냈으며, 이 과정에서의 전자수 밀도는 다음의 1차원 수송방정식으로 표현할 수 있다.

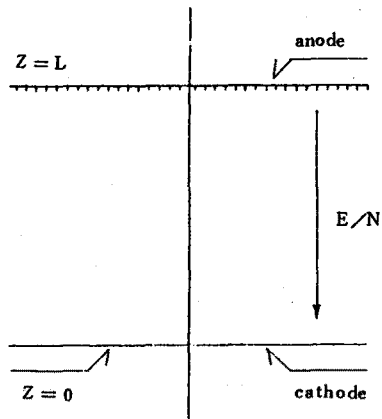


그림 1. 전자군의 드리프트 영역
 Fig. 1 Drift region of electron swarm

$$\frac{\partial n(z,t)}{\partial t} = D_L \frac{\partial^2 n(z,t)}{\partial z^2} - W \frac{\partial n(z,t)}{\partial z} + (V_i - V_{at}) n(z,t) \dots \dots \dots (1)$$

여기에서 n(z,t)는 전자수밀도, D_L은 종방향확산계수, V_i는 전리주파수, V_{at}는 부착주파수이다.

양극에서 얻어지는 전자도착시간분포는 식(1)의 시간 의존해로 Z=L에 있어서

$$n(t) = \frac{n_0}{\sqrt{4\pi D_L t}} \exp \left\{ -\frac{(L-wt)^2}{4D_L t} + (\alpha - \beta)wt \right\} \dots (2)$$

가 되며, 여기에서 n₀는 t=0일때 음극에서의 전자수밀도, α는 타운젠트의 제 1전리계수, β는 부착계수이다.

플렉터에 도달한 전자들에 의하여 전류로서 관측되는데, 이 전류

는 식(2)의 $n(t)$ 에 비해한다. 전리나 부착작용에 의한 전자수밀도의 변동이 없고 ($\alpha = \eta = 0$), 전자도착시간분포가 극대를 나타내는 피이크 시간 t_p 는

$$t_p = \frac{L}{W} - \frac{D_L}{W^2} = \frac{1}{W} \left(L - \frac{D_L}{W} \right) \quad (3)$$

이 된다.

따라서 식(3)에 의하여 피이크시간 t_p 와 드리프트 거리 L 로부터 이동속도 W 가 구해진다.

또한 피이크치의 $1/\sqrt{e}$ 인 값을 가지는 시간폭 $2\delta t$ (특성폭)를 구하기 위하여

$$\delta t \equiv \frac{|t_1 - t_2|}{2} = |t_1 - t_p| \quad (4)$$

$$n(t_1) = n(t_2) = \frac{1}{\sqrt{e}} n(t_p), \quad t_1 < t_2 \quad (5)$$

인 δt , t_1 , t_2 를 정의하면

$$\delta t^2 = \frac{2D_L}{W^2} t_p + 3 \left(\frac{D_L}{W^2} \right)^2 = \frac{2D_L}{W^2} \left(t_p + \frac{3D_L}{2W^2} \right) \quad (6)$$

$$D_L = \frac{(\delta t)^2}{2 t_p} W^2 - \frac{3}{2 t_p} \left(\frac{D_L}{W} \right)^2 \quad (7)$$

이 구해진다.

따라서 드리프트거리 L 을 가변시켜 측정하는 자동측정에 의한 $t_p - \delta t^2$ 그래프의 기울기로 부터 종방향확산계수의 산출이 가능하다.

4. 결과 및 고찰

이동속도와 종방향확산계수의 결정은 전자도착시간분포곡선에 의하여 성형된 $L - t_p$, $L - \delta t^2$ 의 그래프로 부터 이루어진다. 전자 도착시간분포의 예는 그림 2와 같다.

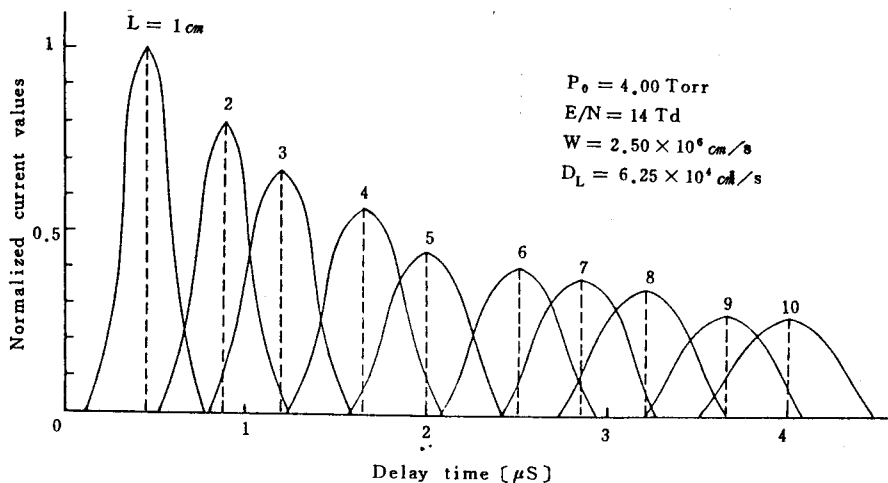


그림 2. 전자군의 도착시간분포

Fig. 20 Arrival-time spectra of electron swarm

3. 실험

3-1. 실험 장치

본 연구에서 사용된 실험장치는 전자의 드리프트 거리를 변화시킬 수 있는 가변이중드리프트 튜브, 전자의 도착시간 분포를 측정하기 위한 전기회로, 실험조건에 필요한 진공상태를 달성시키는 배기계, 드리프트 튜브에 시료기체를 봉입하기 위한 기체도입계 등으로 구성되어 있다.

3-2. 실험 방법

E/N 의 최고치는 기체의 절연파괴와 충돌전리작용을 고려하여 240 [Td]로 하였으며, E/N 의 값은 대수그래프상에서 되도록이면 등간격이 되도록 선정하였다. 셋터에 가해지는 펄스전압은 퍼스널 컴퓨터에 의해 펄스폭, 주기, 지연시간이 조절되며, 펄스폭은 측정이 가능한한 좁게 하였으며, 기체의 압력에 따라 펄스폭을 40 - 160 [ns]로 하여 측정하였다.

드리프트거리 1 - 10 [cm]인 10점에 대하여 전자도착 시간분포를 측정하고 TOF이론에 적용시켜 이동속도와 종방향확산계수를 산출한다.

질소가스중에서 측정된 전자의 이동속도 W의 결과를 그림 3, 기체수밀도 N과 종방향 확산계수 D_L의 곱 ND_L의 결과를 그림 4, 종방향확산계수 D_L과 전자의 이동도 μ의 비 D/μ와 특성 에너지 eD_L/μ의 결과를 그림 5에 각각 상대전계의 세기 E/N의 함수로서 나타내었다. E/N으로서 표기한 것은 E/P₀에 비하여 봉입기체의 온도에 의존성이 없으므로 물리적 의미가 더욱 확실하기 때문이다.

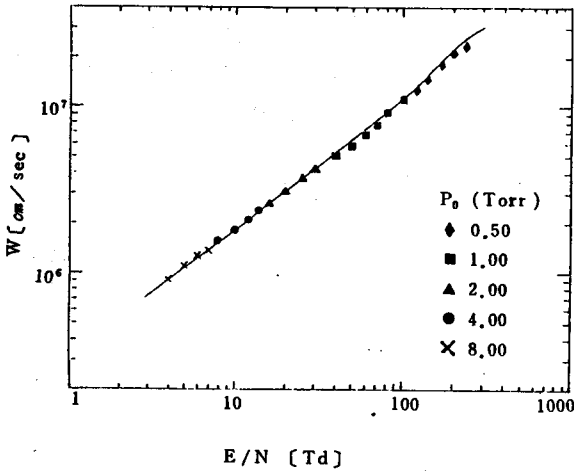


그림 3. 질소가스중에서 전자 이동속도
Fig.3. Electron drift velocity in N₂ gas

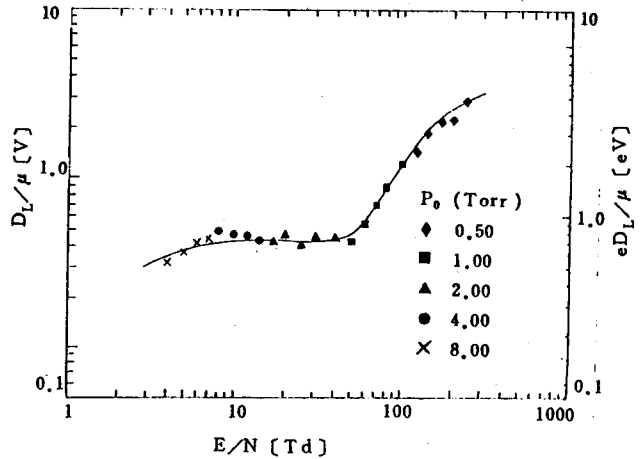


그림 5. 종방향확산계수와 이동도의 비
Fig.5. Ratio of longitudinal diffusion coefficient to mobility.

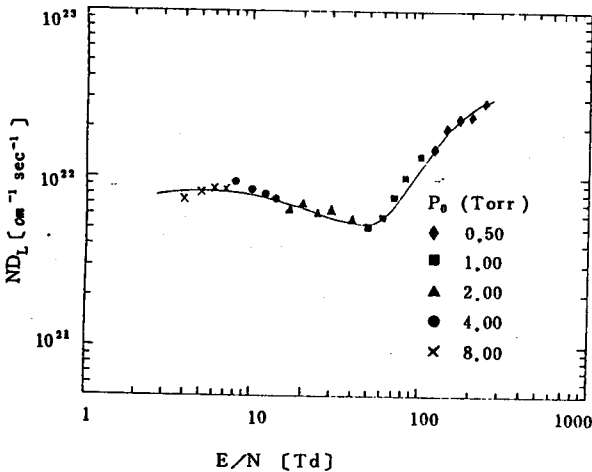


그림 4. 질소가스중에서 전자군의 환산이동도
Fig.4. Reduced mobility of the electron swarm in N₂ gas.

여 선형적인 관계가 예측된 것처럼 그림 3에서 E/N < 60 [Td] 인 범위에서 전자의 이동속도 W는 E/N에 거의 직선적으로 비례하고 있다.

이는 인가전계에 의한 전자의 가열이 없는 열평형 상태에 있음을 나타내며, 이 범위를 넘게되면 전자와 기체분자 사이의 비탄성충돌에 의하여 충돌시 열운동 속도가 0까지 저하되어 전체방향으로 유효하게 구동되는 이동속도는 급증하게 된다.

환산확산계수 ND_L은 그림 4에서 E/N의 낮은 범위에서는 약간의 감소경향이 나타내다가 E/N > 60 [Td]인 범위에서는 급격한 증가를 나타내고 있다.

이것으로부터 전자의 에너지분포함수가 탄성·비탄성 충돌에 의하여 변화되고 있음을 알 수 있으며, 운동량 변환충돌 단면적이 E/N의 증가에 대하여 약간 증가의 경향을 나타내며, E/N > 60 [Td] 범위에서는 전자의 이동속도의 역수보다 급격히 감소하고 있음을 예측할 수 있다.

5. 결 론

질소가스중에서 전자의 이동속도의 전반적인 변화는 상대전계의 세기 E/N에 대하여 거의 선형적이었다. 특히, E/N > 60 [Td]에서 이동속도의 급증을 나타내고 있으며, 이 영역에서는 비탄성충돌의 영향이 현저함을 알 수 있다.

또한, 확산계수와 환산이동도 사이의 관계로부터 전자의 에너지 분포함수는 탄성·비탄성충돌에 의하여 변화되고, 운동량 변환충돌 단면적은 E/N < 60 [Td]인 범위에서는 약간 증가의 경향을 가지며, E/N ≥ 60 [Td]인 범위에서는 이동속도의 역수보다 급격히 감소됨을 알 수 있다. 즉, E/N = 60 [Td] 부근을 변곡점으로 하는 분포를 가질 것으로 예측된다.

전자의 이동속도는 이론에서 설명한 바와 같이 E/N에 대하

그리고 전자의 특성에너지는 상대전계의 세기가 $4 < E/N < 60$ [Td]인 범위에서는 $0.7 \sim 0.8$ [eV]로 거의 일정하였으며, $60 < E/N < 200$ [Td]인 범위에서는 $0.8 \sim 4$ [eV] 정도의 값을 가지며 거의 선형적으로 증가하고 있다.

References

- 1) L.G.H.Huxley and R.W.Crompton ; The diffusion and drift of electrons in gases, Jhon Wiley and Sons, Inc., pp. 44 ~ 162, 1974.
- 2) B.E.Cherrington ; Gaseous electronics and gas lasers, Pergamon press, pp. 49~94, 1979.
- 3) E.W.McDaniel and E.A.Mason ; The mobility and diffusion of ions in gases, John Wiley and Sons, Inc., pp. 3 ~ 82, 1973.
- 4) E.B.Wagner, F.J.Davis and G.S.Hurst ; "Time-of-flight investigations of electron transport in some atomic and molecular gases", J.Chem. Physics, Vol. 47, pp. 3138 ~ 3147, 1967.
- 5) G.S.Hurst and J.E.Parks ; "Time-of-flight determinations of electron diffusion coefficients and electron drift velocities in ethylene, water vapor and in hydrogen", J.Chem.Physics, Vol. 45, pp. 282 ~ 295, 1966.
- 6) N.E.Bradbury and R.A.Nielsen ; "Absolute values of the electron mobility in hydrogen", Physical Rev., Vol. 49, pp. 388 ~ 393, 1935.
- 7) A.V.Phelps, J.L.Pack and L.S.Forst ; "Drift velocity of electrons in helium", Physical Rev., Vol. 117, No. 2, pp. 470 ~ 474, 1960.
- 8) G.S.Hurst, L.B.O'Kelly, E.B.Wagner and J.A.Stockdale ; "Time-of-flight investigations of electron transport in gases", Chem. Physics, Vol. 39, pp. 1341 ~ 1345, 1963.
- 9) Yong-Hyun Paek, Bok-Heui Lee, et al ; "Measurement of the electron drift velocity in alkali metal vapor by the induced current method", KIEE. Proceeding, pp. 164 ~ 173, 1986.
- 10) J.T.Moseley, R.M.Snuggs, D.W.Martin and E.W.McDaniel ; "Longitudinal and transverse diffusion coefficients of mass-identified N^+ and N_2^+ ions in nitrogen", Physical review letters, Vol. 21, pp. 873 ~ 878, 1968.