

放電パラメータ測定 (28)

— 2重シャッタ・ドリフトチューブの構築 (2) —

長谷川 博 一*・下 妻 光 夫**

Measurement of Gas Discharge parameter (28)

— Construction of the double-shutter drift tube (2) —

Hirokazu HASEGAWA and Mitsuo SHIMOZUMA

要 旨

電子輸送係数を測定するため2重シャッタ・ドリフトチューブの構築を行ない、 N_2 の電子移動速度を $E/N=20\sim 180\text{Td}$ の範囲で測定した。その結果、 N_2 の電子移動速度は、すでに報告されている測定値とよく一致した。

Abstract

The double-shutter drift tube with variable drift distance was constructed to measure the drift velocity of electrons in nitrogen over the range of E/N from 20 to 180 Td. The measured drift velocities were in good agreement with the values given by Nakamura.

1. は じ め に

筆者らは、これまで Steady-State Townsend 法で単ガスや混合ガスの電離係数等を測定し報告してきた¹⁾。しかし、この方法では電子の移動速度や拡散係数などの電子輸送係数の測定は不可能である。そこで、今回慶応大の中村ら²⁾と同方法の2重シャッタ・ドリフトチューブの構築³⁾を行ない、すでに報告されている N_2 の電子の移動速度 W_m の測定を試み、その結果を他の測定値と比較し、測定装置の精度の検討をおこなったのでここに報告する。

2. 測 定 原 理

測定は、Time of Flight 法の理論³⁾に基づいて行なう。すなわち、電子スウォームのドリフト方向を Z 方向 (電界と逆方向) とすると、時刻 t

$= 0$ において位置 $Z = 0$ のシャッタ S_1 (図2参照) を δ 関数的に出発した n_0 個の電子は、拡散しながら、平等電界中をシャッタ S_2 ($Z = L$) の方向にドリフトして行く。この過程での電子数密度 $n(Z, t)$ は(1)式のような一次輸送方程式で表される

$$\frac{\partial n(Z, t)}{\partial t} = DL \frac{\partial^2 n(Z, t)}{\partial Z^2} - W \frac{\partial n(Z, t)}{\partial Z} (\alpha - \eta) Wn(Z, t) \quad \dots\dots(1)$$

ここで α , η は、それぞれ電離係数および付着係数である。

(1)式を解くことにより、電子到達時間分布 $n(L, t)$ は、次の式で与えられる。

$$n(L, t) = \frac{n_0}{(4\pi D_L t)^{1/2}} \exp\left[-\frac{(Z-Wt)^2}{4 D_L t} + (\alpha - \eta) Wt\right] \quad \dots\dots(2)$$

ここで、電離および付着による電子数の変化がない ($\alpha = 0$, $\eta = 0$) ものと仮定する。このとき (2)式で表される到着時間分布のピーク時間 t_p を次のように定義すると、

* 助教授 電気工学科

** 助教授 北海道大学医療技術短期大学部

$$\left. \frac{\partial n(Z, t)}{\partial t} \right|_{t=t_p} = 0$$

拡散が十分に小さいと仮定した場合、ピーク時間は次式で与えられる。

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

この式から電子の移動速度 (W) は、ドリフト距離を変化させた差動特定による t_p - L のグラフの傾きから得られる。

さらに、縦方向拡散係数を求めることが可能であるが、今回は測定の対象としなかったためその原理は省略する。

3. 実験装置と方法

3. 1 実験装置

2重シャット・ドリフトチューブの概略を図1に示す。250Φ×350Hmmのステンレス製ドリフトチューブ内に金薄膜電極を陰極とし、電子をパルス状にドリフトチューブに注入するためのシャット S_1 、平等電界を作るためのガードリング、ある時間間隔のパルス状の電子群だけをコレクタに通すためのシャット S_2 、コレクタ電極を配置した。チェンバの排気系は160L/sのターボ分子ポンプと250L/minの油回転ポンプを使用し、チェンバ内はオイルによる汚染を無くした。チェンバの到達真空度は 3×10^{-8} Torr、リーク率は 10^{-7} Torr/min であり、1回の実験中 (1時間以内) のリーク不純物の試料ガスへの影響は

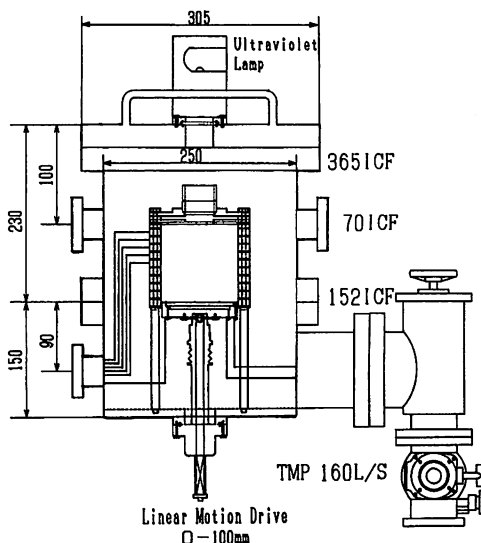


図1 2重シャット・ドリフトチューブ

無視できると考えられる。 S_2 を含む下部電極部は直線導入器 (0~100mmをダイヤルゲージで0.01mm読取可能) に直結されドリフト距離を可変することができ、差動測定が行なえる。このため電離の影響が無視できる範囲では、拡散の影響を相殺した移動速度が求められる。また、シャット近傍での電子のエネルギー緩和の影響や電界の乱れの影響も相殺して測定ができる利点がある。 S_1 , S_2 はカットオフ特性のよい Tyndall ら⁵⁾と同方式で2枚の厚さ0.1mmのステンレス製メッシュで構

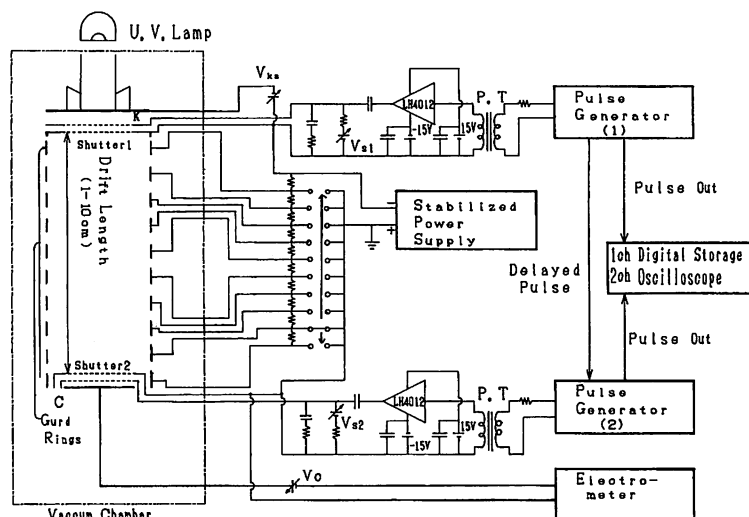


図2 全測定系

成され約 1 mm の間隔で配置されている。

図 2 に全測定系を示す。初期放出電子は、重水素ランプ（浜松ホトニクス L2541）の紫外線を金薄膜陰極（K）に照射することで真空中で 10^{-8} A 程度（図 4 を参照）得られる。電界設定用の高圧直流安定化電源（川口社 V713）は、出力電圧 $0 \sim \pm 3100$ V、安程度 $\pm 0.01\%$ / 8 h である。ガス圧は、バラトロン圧力計（MKS 122A、フルスケール 10 Torr、分解能 4 桁、精度読み値の 0.15%）で設定した。また微弱なコレクタ電流はエレクトロメータ（Keithley 610c、 $0.3 \sim 10^{-14}$ A と Advantest R8248、 $0.02 \sim 10^{-14}$ A を両用）で測定した。電子シャッタのパルスは、パルスジェネレータ（エヌエフ PM5715、岩通 PG230、いずれも周波数範囲 $0 \sim 50$ MHz）とパルストランス（シャッタパルス絶縁のため）および高速バッファ用オペアンプ（National Sem. LH4012、周波数特性 DC ~ 490 MHz）を組合せて発生させた。図 3 は、使用したシャッタパルスのパルス波形である。パルス幅は、電子の到着時間より充分短くする必要があるため今回は約 100 ns（FWHM）とした。パルスジェネレータ(1)とパルスジェネレータ(2)の遅れ時間（時間差）は、デジタルストレージ・オシロスコープ（Philips PM3320、250 MHz）で測定した。

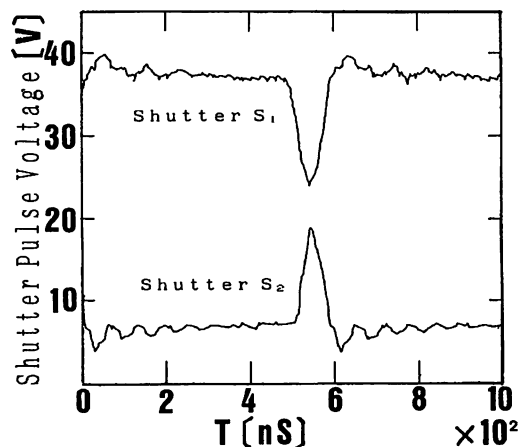


図 3 Diagram of The Shutter Pulse

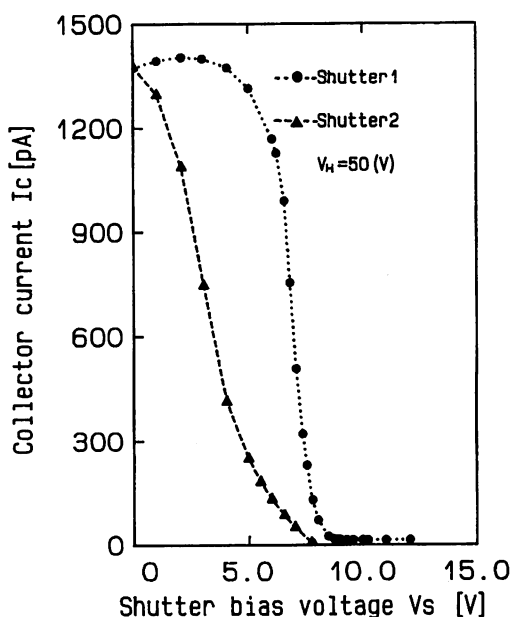


図 4 真空中のシャッタ特性

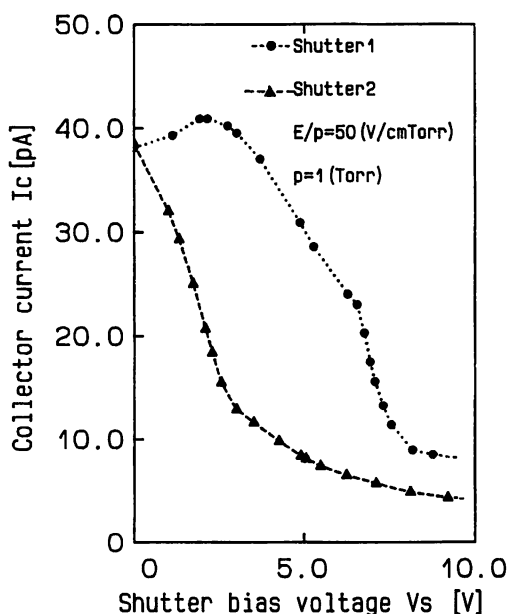


図 5 N_2 中のシャッタ特性

図4に S_1 , S_2 の真空中のシャット特性を示す。真空中ではシャットのバイアス電圧の増加にともないコレクタ電流 I_c が 10^{-8} から 10^{-11} Aに減少しており、優れた遮断特性を示している。図5に N_2 中の S_1 , S_2 のシャット特性を示す。 N_2 中($p_0 = 1$ Torr)では I_c は、電子が N_2 と衝突を行ない拡散するため真空中に比べ $1/30$ に減少している。またシャットが閉じたときの I_c は 10^{-11} A程度となり真空中と同程度の値になっている。

3. 2 実験方法

紫外線照射による陰極から放出された電子は, S_1 に加えられる短い電圧パルス(約100ns)によってパルス状の電子群として周期的(パルス周期約 $1 \sim 2 \mu s$)にドリフトチューブ内に注入される。注入された電子群は、ガードリングによって作られた平等電界中を N_2 と衝突を繰返ししながら拡散しドリフト距離を進んだ後, S_2 に到着する。 S_2 には S_1 より一定時間遅れた同じ幅の電圧パルスが加えられ、その瞬間 S_2 に到達した電子のみが背後のコレクタ電極に達しエレクトロメータで電流として観測される。このときの到着時間もデジタルストレージ・オシロスコープで記録される。

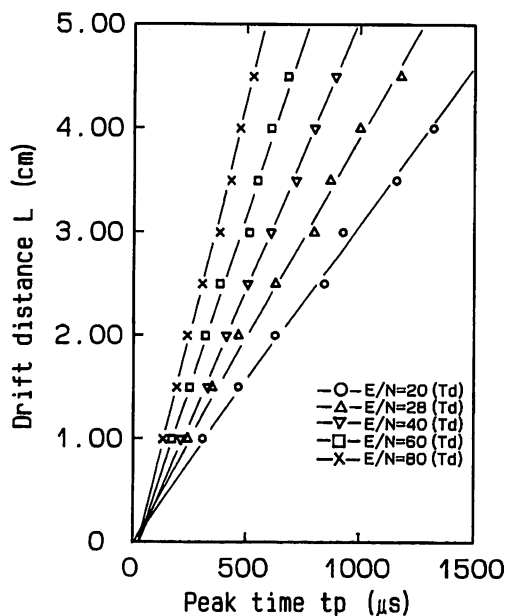


図6 N_2 中の $L-t_p$ 特性

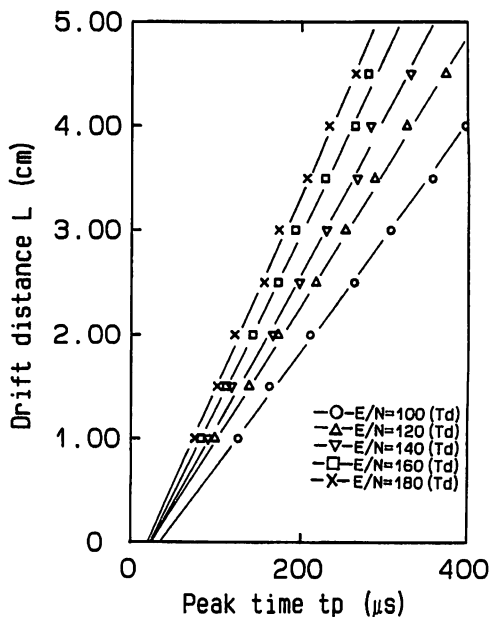


図7 N_2 中の $L-t_p$ 特性

4. 実験結果と検討

今回は, S_2 に加えるパルスの S_1 へのパルスに対する遅れ時間の設定を手動でパルスジェネレータ(1)の Delay 端子から行なったため電子到着時間分布の内、ピーク到達時間 t_p のみドリフト距離 L に対して測定した。測定範囲は, $E/N = 20 \sim 180$ Td (E : 電界, N : 気体分子数密度)である。測定中のガス圧は、全測定範囲で $p = 1$ Torr 一定である。図6は $E/N = 20, 28, 40, 60, 80$ Td, 図7は $E/N = 100, 120, 140, 160, 180$ Td における L に対する t_p の測定結果である。 L と t_p の測定値より最適直線を最小二乗法による直線回帰によって求め、直線の傾きより電子移動速度 W_m を求めた。拡散やシャット近傍の諸効果は、相殺され直線の y 切片の値としてのみ表れ、 W_m に影響を与えない。今回の y の切片の値は負となり、中村らの報告と同じように E/N の値が大きくなるにつれて負の値が増加している。図6, 7の直線の傾きから求めた W_m の値を図8に示す。Nakamura (1987)⁶⁾の結果と比較すると測定範囲で約5%以内の差となり、よく一致した結果となっている。

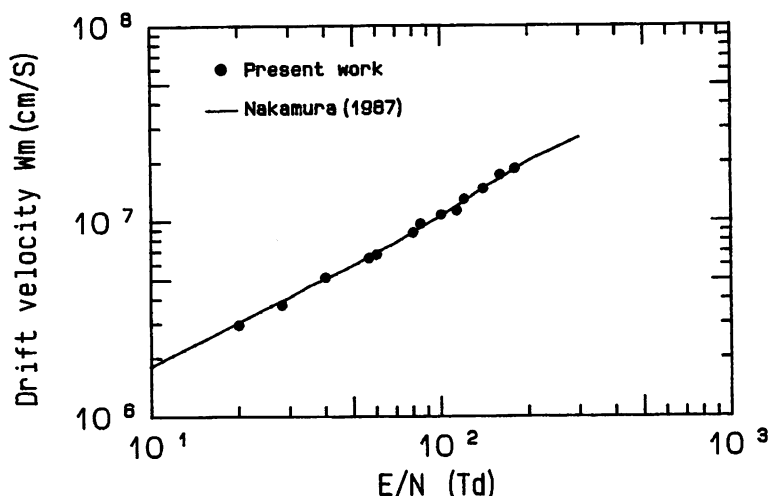


図8 N_2 中の W_m - E/N 特性

5. お わ り に

この N_2 の移動速度の測定結果より、本測定系の信頼度は確かめられたと考えられる。今後は、チューブ内への電子の注入量を大きくし、シャッタ特性を改善し測定範囲を広げる予定である。さらに、シャッタパルスの自動遅延発生器を製作し、測定系に組込むことで到着時間分布を求め、縦方向拡散係数も算出したいと考えている。また、負イオンの輸送係数も原理的には、本装置で測定できると考えられる。そこで、負イオンが存在する気体中の負イオンの輸送係数の測定も今後試みたいと考えている。最後に装置の構築に御助言いただいた慶応大学中村先生、北海道大学田頭先生に深く謝意を表します。また、測定装置の構築に御協力いただいた第23期生渡辺君、第24期生居島君に感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) Hasegawa et al, J. Phys. D : Appl. Phys., 21, 1988
- 2) 竹多・中村, 電気学会論文誌, 102-A, 9, 1982
- 3) 長谷川他, 平成3年電気学科道支部大会, 1991
- 4) Huxley et al, The diffusion and electrons in gases, Chap. 3, 1974, Wiley
- 5) Tyndall et al, Proc. Roy. Soc. A, 121, 172, 1928
- 6) Nakamura, J. Phy. D : Appl. Phys., 20, 1987

(平成3年11月30日受理)

