

放電パラメータ測定 (41)
- N₂ + He 混合ガスの電子輸送係数測定 -

長谷川 博 一* 伊 達 広 行** 下 妻 光 夫***

Measurement of Gas Discharge Parameter (41)
- Measurement of electron transport coefficients in mixtures of nitrogen and helium -

Hirokazu HASEGAWA, Hiroyuki DATE and Mitsuo SHIMOZUMA

要 旨

2重シャッター・ドリフトチューブ実験装置を使用して N₂ + He 混合ガスの電子到着時間分布を He の混合率 k をパラメータにして換算電界 E/N=100, 150, 200 [Td] の範囲で測定し, N₂ + He 混合ガスの電子移動速度 W_m や縦方向拡散係数 D_L 等の電子輸送係数を算出した。その結果, W_m, D_L とともに k の増加にともない下に凸の相乗効果を示した。

Abstract

The distribution of arrival time spectra (ATS) of electrons in mixtures of nitrogen and helium has been measured over the range of E/N from 100 to 200[Td] by using a double-shutter drift tube. The drift velocity of electrons (W_m) and the longitudinal diffusion coefficient (D_L) were evaluated from the ATS method and a Gaussian distribution. The values of W_m and D_L are smaller than the values predicted by a linear combination of them of the pure gases based on partial pressure of helium in the mixture, k, in the range of these E/N.

1. 緒 言

筆者らは、これまでに2重シャッター・ドリフトチューブ実験装置を使用して、CO₂ガスレーザの気体材料の主成分であるCO₂, N₂の単ガスやN₂ + CO₂混合ガスの電子移動速度 W_m や縦方向拡散係数 D_L 等の電子輸送係数を測定し、報告1, 2) してきた。特にN₂ + CO₂混合ガスの W_m や D_L 等の電子輸送係数が低 E/N (E: 電界, N: 気体分子数密度) 領域で上に凸の相乗効果を確認した。

本報告は、さらにCO₂ガスレーザの高出力化に重要な役割を果たすバッファガスとして使用されているN₂ + He 混合ガスの W_m や D_L 等の電子輸送係数を He の混合率 k をパラメータにして換算電界 E/N=100, 150, 200 [Td] の範囲で測定し検討したのでここに報告する。

2. 実験方法

実験方法および解析方法については、文献^{1), 2)} に詳しく述べてあり、ここでは省略する。実験中の設定圧力は、E/N = 100 [Td] で気圧 p = 1.0 [Torr] (p は 0 [°C] に換算してある), E/N = 150, 200 [Td] で気圧 p = 0.5 [Torr] 一定で行った。また、ドリフト距離 L は 1 ~ 5 [cm] の範囲で数点変化させて電子到着時間分布を測定した。混合率 k は、次式のように設定した。

$$k = \frac{\text{Heの分圧} p_{\text{He}}}{\text{N}_2\text{の分圧} p_{\text{N}_2} + \text{Heの分圧} p_{\text{He}}} \times 100 [\%]$$

なお、使用した試料ガスの純度は、N₂ガスが 99.9998 [%] up, He ガスが 99.9999 [%] up である。

3. 実験結果および考察

図 1 に E/N = 200 [Td] で k = 40 [%] (N₂ : He = 3 : 2), L = 2 ~ 3.5 [cm] の電子到着時間分布の測定結果 (スプライン補間等の平滑

* 助教授 電気工学科
** 助 手 北海道大学医療技術短大部
*** 教 授 北海道大学医療技術短大部

化処理済み)を示す。図1から L が増加するにしたがってデルタ関数的にチェンバに注入された電子の拡散による電子到着時間分布のピーク値や分布幅の増加が認めらる。また、電離作用によると考えられる測定電流のピーク値の増加も認められる。図1のように2重シャッター・ドリフトチューブ実験装置により測定された電子到着時間分布からA T S解析³⁾を適用して W_m およびGauss分布解析により D_L を電算機を使用して算出した。

図2, 図3にそれぞれHe単ガスの $E/N = 100, 150, 200$ [Td]で(200TdのみHe99 [%])の W_m および縦方向拡散係数と電子移動度の比 D_L/μ (ほぼ電子の平均エネルギーと見なす)の測定結果を示す。比較検討のため主だった他の測定値もプロットしてある。図2より, $E/N = 100$ [Td]のときDall'Armi et al (1992)⁴⁾の値とはよく一致しており, Amies et al (1985)⁵⁾の値は, 本測定値より数 [%] 低いようである。Anderson (1964)⁶⁾の測定値を含めKucukarpaci et al (1981)⁷⁾以外の測定値は $E/N = 100$ [Td]以下であるが本測定値の延長上あると考えられる。またKucukarpaci et alは $E/N = 100$ [Td]以上で

本測定値より十 [%] 程度大きくなっている。これらの結果より, Heの本測定結果は妥当なものと考えられる。図3より D_L/μ の本測定値は, Kucukarpaci et alの値に比べ低くなっており $E/N = 100$ [Td]で70 [%]程度小さな値となる。しかし, $E/N = 200$ [Td]ではその差は10 [%]程度に縮まっている。

図4に $E/N = 100, 150, 200$ [Td]で $k = 0 \sim 100$ [%]における $N_2 + He$ 混合ガスの W_L の測定結果を示す。 $E/N = 100, 150, 200$ [Td]ともに k の増加にともない W_L は, N_2 単ガスから増加し, 単調な直線増加に比べ下に凸の傾向を示し増加してHe単ガスに到っている。例えば, $E/N = 150$ Td ($k = 80$ [%])で W_L の値は, 単純増加のそれに比べて22 [%]程度減少しており, 混合ガスにおける下に凸の相乗効果が認められる。

図5に $E/N = 100, 150, 200$ [Td]における $N_2 + He$ 混合ガスの D_L/μ の測定結果を示す。 E/N の値に関わらず D_L/μ の値は, W_m と同様に N_2 単ガスから下に凸の傾向を示し増加してHe単ガスに到っている。特に $E/N = 100$ [Td]では,

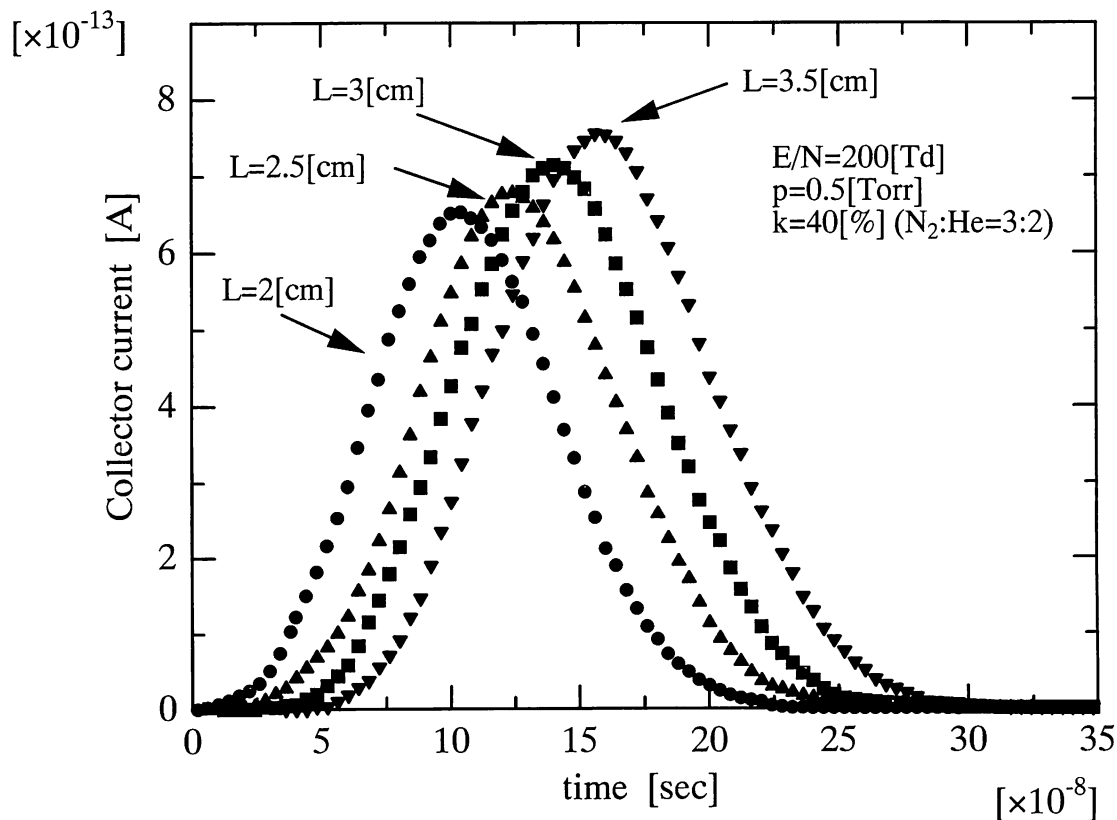


図1 $N_2 + He$ 混合ガスの電子到着時間分布

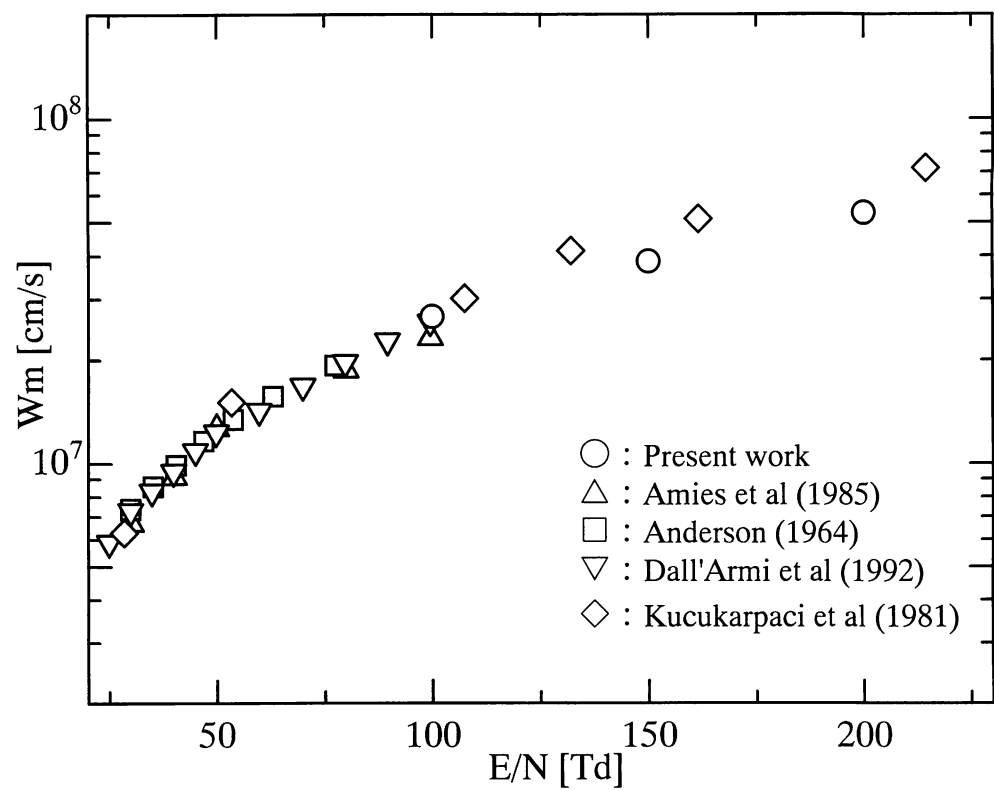


図 2 He の電子移動速度

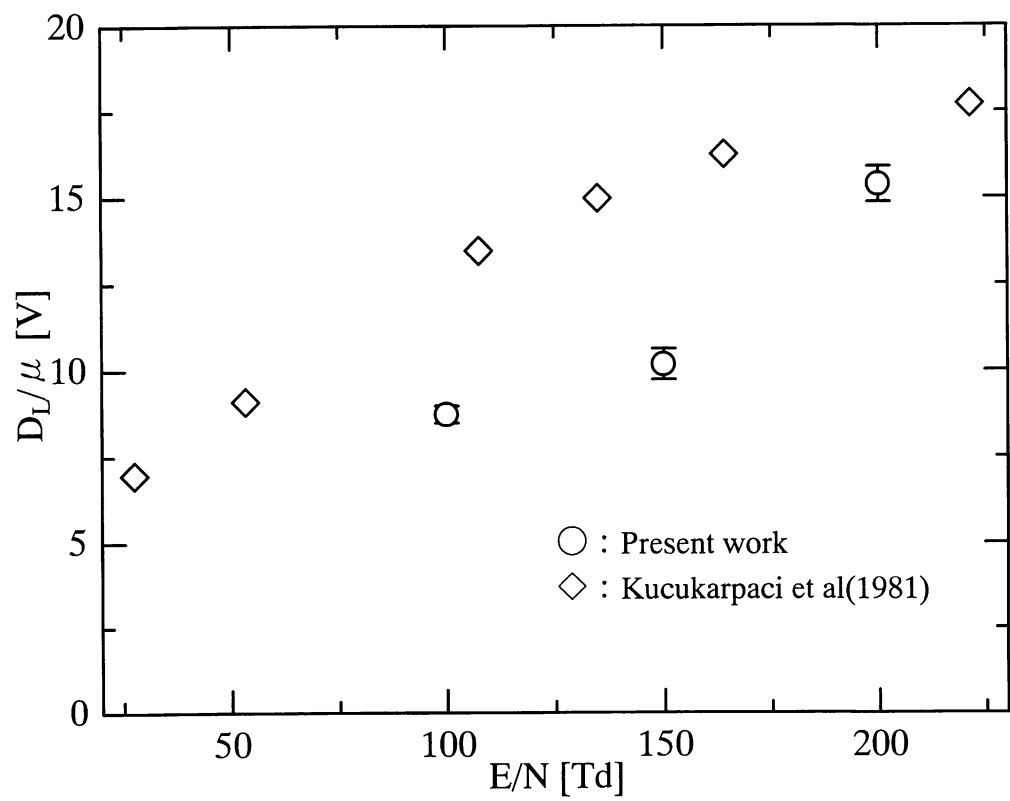


図 3 He の縦方向拡散係数と電子移動度の比

顕著に下に凸の傾向を示している。

この下に凸の傾向の原因は、混合率に対する各々のガスの各種衝突断面積の割合とそのときの電子エネルギー分布の関係により起こるものと推察されるが詳しく検討するためには Boltzmann 方程式解析等の数値解析による検証が必要と考えられる。 $N_2 + He$ 混合ガスの W_m や D_L/μ の本測定結果は、筆者らがすでに報告した $N_2 + He$ 混合ガスの電離係数の測定結果⁴⁾における相乗効果をサポートするものと考えられる。

4. 結 言

2重シャッター・ドリフトチューブ実験装置を使用して、 CO_2 ガスレーザの高出力化に重要な役割を果たすバッファガスとして使用されている $N_2 + He$ 混合ガスの W_m や D_L/μ を He の k を

パラメータにして換算電界 $E/N=100, 150, 200$ [Td] の範囲で測定し検討した。その結果 W_m , D_L/μ ともに下に凸の相乗効果が認められた。 $N_2 + He$ 混合ガスの W_m や D_L/μ などの電子輸送係数の報告も今回初めて行なったと考えられ、本測定結果は、 CO_2 ガスレーザの設計開発に有意義なデータを提供できたものと思われる。また、従来2重シャッター・ドリフトチューブ実験装置を使用した高 E/N 領域での測定が困難であった He 単ガスの電子輸送係数の測定においても N_2 などによる混合ガス化により、今後はより高 E/N 領域での He 単ガスの電子輸送係数測定が行うことが可能になったと考えられる。最後に、本報告にご指導ご助言いただきました室蘭工業大学田頭博昭学長に深く謝意を表すとともに測定にご協力いただきました第29期生奥井君に感謝いたします。

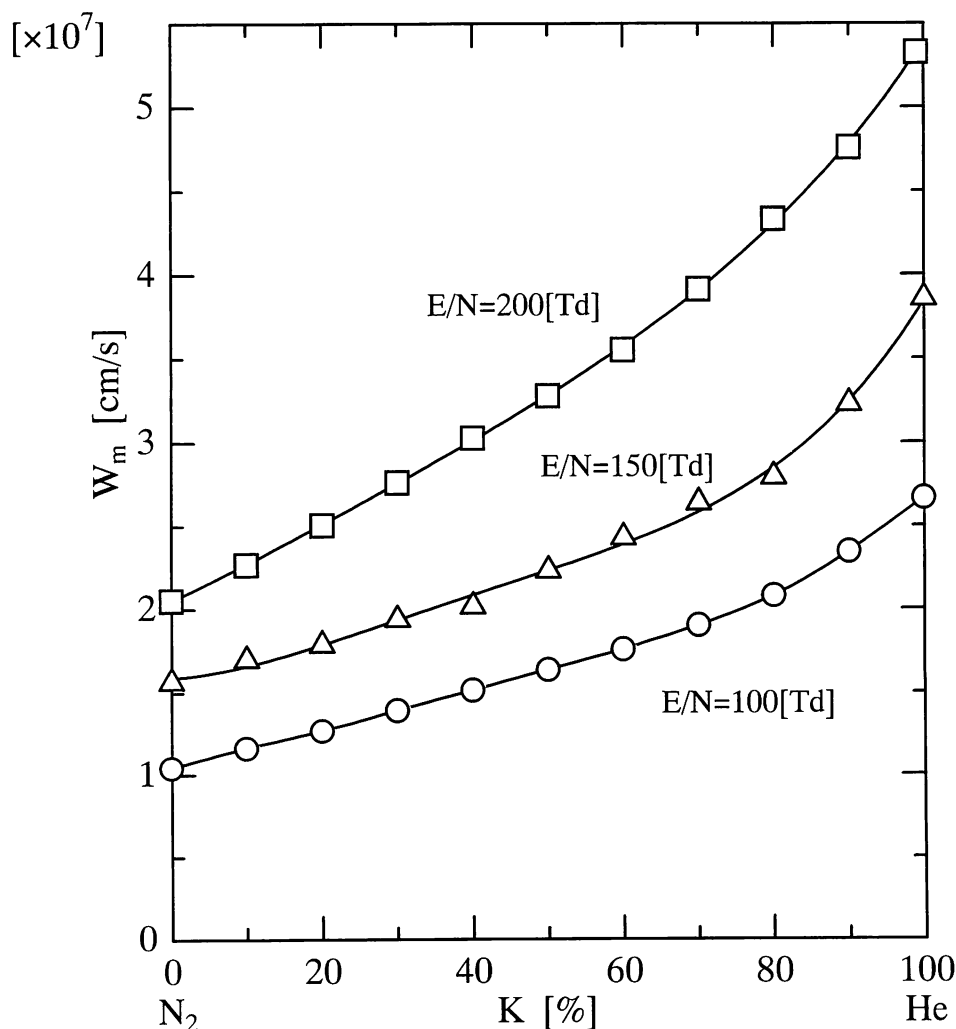
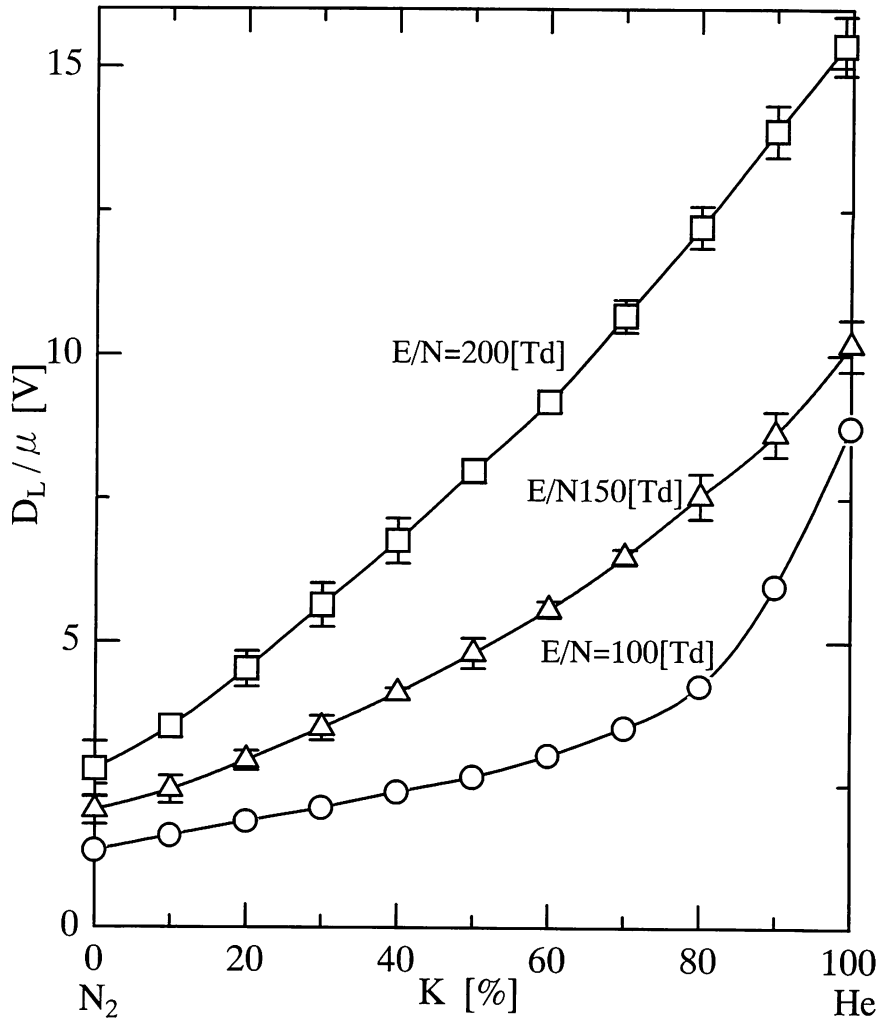


図4 $N_2 + He$ 混合ガスの電子移動速度

図5 $N_2 + He$ 混合ガスの縦方向拡散係数

参考文献

- 1) Hasegawa et al, J. Phys. D: Appl. Phys., 29, 2664-2667, 1996
- 2) Hasegawa et al, J. Phys. D: Appl. Phys., 31, 737-741, 1998
- 3) 伊達他, 電気学会論文誌, Vol.113-A, No12, 826-834, 1993
- 4) Dall'Armi et al, Aust. J. Phys., 45, 185-191, 1992
- 5) Amies et al, J. Phys. D: Appl. Phys., 18, 2023, 1985
- 6) Anderson, Phys. Fluids, 7, 1517-1526, 1964
- 7) Kucukarpaci et al, J. Phys. D: Appl. Phys., 14, 9-25, 1981
- 8) Hasegawa et al, J. Phys. D: Appl. Phys., 18, 1361-1370, 1985

(平成10年11月30日受理)

