

ホローカソード He 放電における He 2^3S 準安定原子の拡散係数

荒井 俊彦・仁平 幸治*
飯島 徹穂**・後藤 俊夫***

Diffusion Coefficient of He 2^3S Metastable Atom
in He Hollow Cathode Discharge

Toshihiko ARAI, Kougi NIHIRA*, Tetsuo IJIMA**
and Toshio GOTO***

Abstract

The diffusion coefficient for the He 2^3S atom in helium hollow cathode discharge used for lasers has been measured by means of a pulsed afterglow technique and an optical absorption method. The diffusion coefficient determined is 480 (cm²/sec per Torr of helium gas pressure) at 300°K. The result is shown to be in a good agreement with the measurements of positive column helium discharge.

1. ま え が き

金属イオン原子の励起準位間で発振を得る金属イオンレーザーの励起方式としてはグロー放電の陽光柱と負グロー領域を利用するホローカソード放電がある。レーザー発振の得られる金属としてはおもに Cd, Zn, Se などがある。その中で特に Cd を用いた陽光柱 He-Cd⁺ レーザーは実用化され、白色レーザーとして注目されているホローカソード He-Cd⁺ レーザーは現在実用化へ向けて研究が重ねられている。

陽光柱 He-Cd⁺ レーザー（発振波長 441.6 nm）の上準位（Cd(II) $5s^2\ ^2D$ ）への主要な励起過程は最初、He 準安定原子と中性 Cd 原子との衝突によるペニング励起であると考えられてきた¹⁾。しかしその後、粒子密度などの測定から電子衝突による Cd(II) 基底準位經由の階段励起が重要であることが明らかにされた^{2~7)}。

一方ホローカソード He-Cd⁺ レーザー（発振波長 441.6 nm）の励起機構はペニング励起が重要であると考えられてきた。最近になって He-Cd⁺ レーザー放電中の He の準安定原子密度が測定され、Cd(II) $5s^2\ ^2D$ 準位への励起過程が検討された。その結果ペニング励起より電子による直接励起が重要であると提案している⁸⁾。しかしこの励起機構についてはまだ充分解明されておらず、今後定量的に解析していく必要がある。その中で最も大きな問題は、放電中の中性 Cd 原子密度がまだ正確に測定されていないことである。

そこで我々はホローカソード He-Cd⁺ レーザー放電中の中性 Cd 原子密度を知るための第一段階として、He 放電中の He 2^3S 準安定原子密度の減衰からこの準安定原子の拡散係数を求めた。その結果 He 2^3S 準安定原子の拡散係数の値は陽光柱放電中でのものとよく一致していることが示された。これらについて述べる。

2. 実験装置及び測定方法

用いた実験装置を Fig. 1 に示す。ホローカソード放電管の電極は同軸三重構造⁹⁾とほとんど同じである。

* Department of Electrical Engineering, Meiji University

** Tokyo Vocational Training College

*** Department of Electromechanical Engineering, Nagoya University

昭和 59 年 9 月 29 日受理

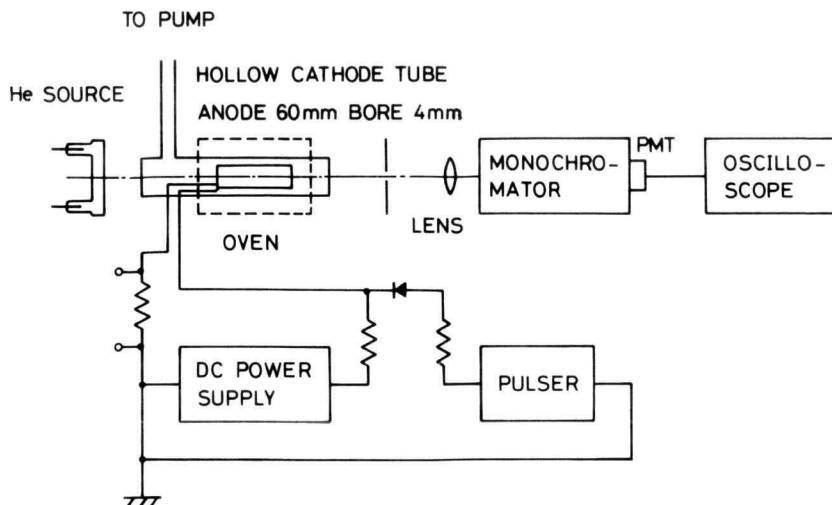


Fig. 1. Schematic diagram of the experimental arrangement.

ホローカソードの内径は4 mm, 長さは60 mmである。

He 放電の励起方法は最初約4 mAの直流放電により放電路を形成する。次に方形波パルス(幅80 μ sec, 繰り返し周波数1 pps, 立ち下り時間1 μ sec)を直流放電に重畳する。この方形波パルスによる準定常放電を用いて軸方向に放電するHe(I)線(388.9 nm)のエンドライト強度の波形はモノクロメータ, 光電子増倍管, シンクロスコープを用いて観測する。

準定常励起し断後のHe 2^3S 準安定原子密度の減衰は, 光源として別のHe放電管を用いた吸収法により測定した⁶⁾。

3. 実験結果と考察

Fig. 2はHe圧力10 Torr, 常温で得られた(a)準定常電流パルス, (b)ホローカソード放電管から放射されるHe(I) 388.9 nm エンドライト強度, (c) He光源を放電管に照射したときのHe(I)エンドライト強度の波形の一例を示している。準定常励起し断後のHe 2^3S 準安定原子密度の減衰はFig. 2 (b), (c)の波形の強度比から吸収係数を求め, それを用いて決定した。

Fig. 3は半対数グラフ上に描いた準定常励起し断後のHe 2^3S 準安定原子密度の減衰部を示している。He 2^3S 準安定原子密度は時定数120 μ secで減衰している。電流を40~200 mAまで変化させても時定数は一定であった。

このHe 2^3S 準安定原子の減衰としておもに(1)管壁への拡散, (2)中性He原子との衝突, (3)準安定原子同志の衝突などが考えられる。したがってHe放電中のHe 2^3S 準安定原子の減衰割合は次式で示される。

$$\frac{1}{\tau_m} = \frac{D_m}{\Lambda^2} + \nu_d \quad (1)$$

ここで τ_m はHe準安定原子の時定数, D_m はHe中のHe準安定原子の拡散係数, Λ は拡散長, ν_d はHe原子によるde-excitationの周波数である。ただしHe準安定原子同志の減衰の項は本実験の条件下ではHe 2^3S 準安定原子密度が約 10^{12} cm^{-3} の値のため $1/\tau_m$ より一桁小さいので式(1)に考慮しなかった。式(1)の右辺の項 ν_d を $c\rho$ におきかえ, 両辺に ρ をかけると次式となる。

$$\frac{\rho}{\tau_m} = \frac{D_m \rho}{\Lambda^2} + c\rho^2 \quad (2)$$

ここで c は定数, ρ はHe圧力である。

Fig. 4は ρ^2 の関数として ρ/τ_m をプロットしたものである。これを直線で0まで外そうとすると $D_m P/\Lambda^2$ の値が得られる。 Λ は $1/\Lambda^2 = (2.405/r)^2$ (r はカソードの半径)の関係より求めた。この結果 $D_m \rho = 480(\text{cm}^2/\text{sec})\text{Torr}$, c は $100(\text{Torr} \cdot \text{sec})^{-1}$ 程度である。このHe圧力1 TorrにおけるHe 2^3S 準安定原子の拡散係数の値は陽光柱放電を利用して以前測定された結果とよく一致している^{10~12)}。また c の値よりHe原子によるHe準安定原子のde-excitationの断面積

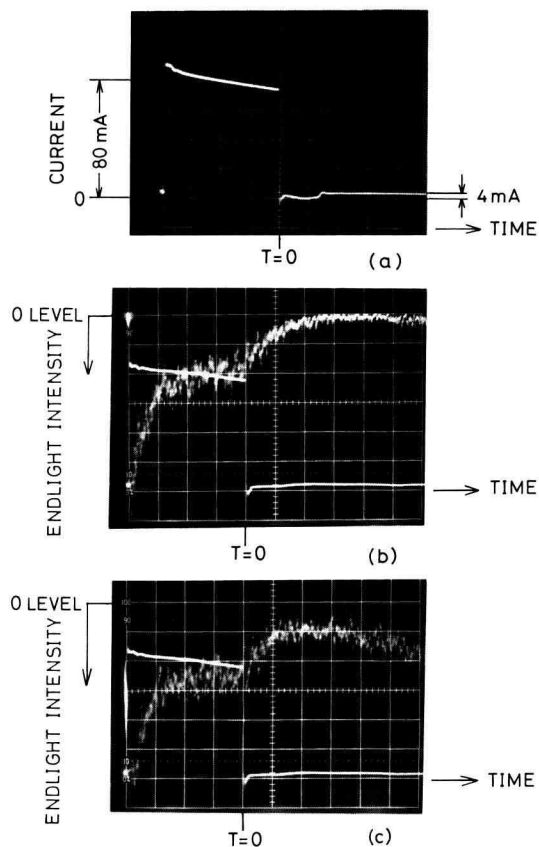


Fig. 2. Waveforms of (a) a quasi-cw discharge current, (b) endlight intensity of the He(I) 388.9 nm line with He light source turned off, and (c) endlight intensity with He light source turned on. Measurements were made at He pressure of 10 Torr and room temperature. Horizontal scale: 20 $\mu\text{sec}/\text{div}$.

を出してみると 10^{-20} cm^2 のオーダーで Biondi のもの¹⁰⁾ と比較的近いが、2 つの He 原子との三体衝突等の過程が入っていると考えられ、検討する必要がある。しかし de-excitation の減衰の項は拡散による減衰の項に比較して約一桁小さいので、He 2^3S 準安定原子の減衰はおもに拡散によるものと考えられる。

4. あとがき

本研究ではホローカソード He 放電中の He 2^3S 準安定原子の拡散係数が最初に測定された。その結果、拡

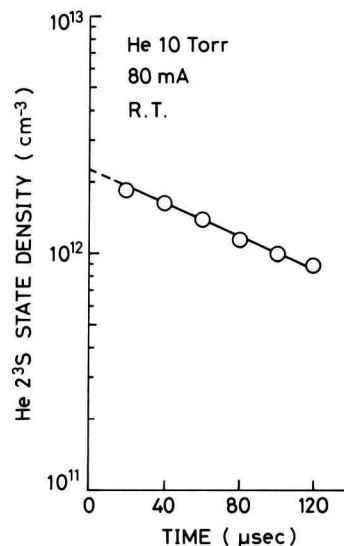


Fig. 3. Semi-log plot of the decay of the He 2^3S metastable state density obtained under the discharge condition of figure 2.

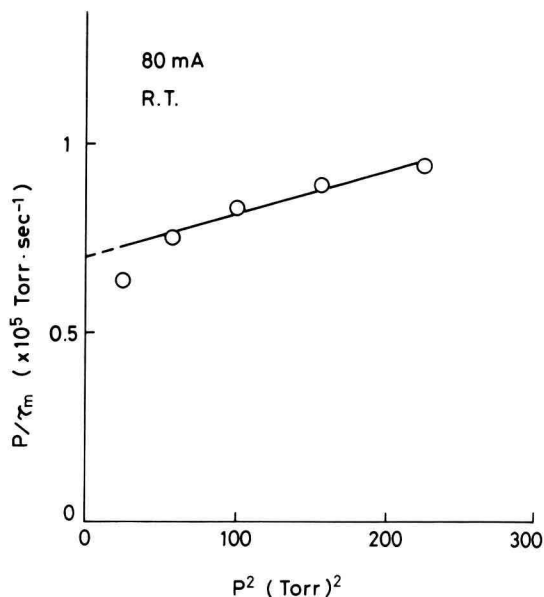


Fig. 4. Variation of the He 2^3S metastable decay rate with He gas pressure.

散係数は陽光柱放電中でのものとよく一致していることがわかった。

今後ホローカソード He-Cd⁺ レーザー放電中の He

^{23}S 準安定原子密度の割合を測定し、得られた拡散係数を用いることにより中性 Cd 原子密度を推定することができるものと考えられる。

参 考 文 献

- 1) W.T. Silfvast: Appl. Phys. Lett. **13** (1968) 169.
- 2) M. Mori, M. Murayama, T. Goto and S. Hattori: IEEE J. Quantum Electron. **QE-14** (1978) 427.
- 3) T. Goto: J. Phys. D: Appl. Phys. **14** (1981) 575.
- 4) T. Goto and T. Arai: J. Phys. D: Appl. Phys. **14** (1981) 581.
- 5) T. Goto, K. Hane and S. Hattori: J. Phys. D: Appl. Phys. **14** (1981) 587.
- 6) T. Goto: J. Phys. D: Appl. Phys. **15** (1982) 421.
- 7) T. Goto and T. Sakurai: J. Phys. D: Appl. Phys. **15** (1982) 2413.
- 8) A.L. McIntosh and J.R. Grace: Aust. J. Phys. **32** (1979) 561.
- 9) 飯島徹穂: 応用物理 **50** (1981) 1021.
- 10) M.A. Biondi: Phys. Rev. **88** (1952) 660.
- 11) A.V. Phelps: Phys. Rev. **99** (1955) 1307.
- 12) W.A. Fitzsimmons, N.F. Lane and G.K. Walters: Phys. Rev. **174** (1978) 193.