電子増倍管を用いた準安定原子の検出

学生員 川崎 康正 (千葉工大)

正員 伊藤 晴雄 (千葉工大)

正員 生田 信皓 (徳島大)

Detection of Metastable Atoms Using Electron Multiplier

Yasumasa Kawasaki, Student Member, Haruo Itoh, Member (Chiba Institute of Technology), Nobuaki Ikuta, Member (Tokushima University)

キーワード：準安定原子，電子増倍管，差動排気，阻止電界，パルス計数法

1. まえがき

非自続タウンゼント放電空間において生成される N_2 の準安定分子 $N_2(A^3\Sigma_u^-)$ の実効励起寿命を測定し，その分子の電極面での反射を含めた脱励起過程の検討を行ってきた⁽¹⁾⁽²⁾。これらの実験における準安定分子の検出は，この分子の陰極への入射による二次電子放出作用 (γ_m) を利用し，電離増倍電流を観測するものであった。

本レターで述べる方法は，放電空間の陽極中央に設けたピンホールを通して，電子や基底準位，準安定原子・分子を差動排気した真空中に導き，電子増倍管によってパルス計数するものである。この際，電子増倍管の前段で逆電圧を加えて電子を遮断し，中性な準安定原子，分子のみを直接検出できるようにした点に特徴がある。ここでは，Ar について行った結果について報告する。

2. 実験装置

本実験に用いた直空容器は，放電電極を納めてある放電室，放電空間で生成される粒子を検出するための電子増倍管を納めた真空室から構成されている。放電室と真空室は差動排気される。放電室には直径 13 cm のハリソン形状の電極を設けた。陰極中心部は，金蒸着した石英ガラスであり，背後より紫外光を照射し，ギャップ間に初期電子を供給した。陽極中心部には，50 μm のピンホールを設け，ここから電子および準安定原子を 10^{-6} Torr に保った真空室に導いた。ピンホールの背後には，阻止電界型の電子エネルギーアナライザ (EEA)，電子増倍管 (MCP)，コレクタを置き，コレクタをパルス計数器に接続した。ピンホールを通して真空室に入った粒子は，EEA の阻止電界で電子が除かれ，準安定原子だけが MCP に入射し，この中で増倍される。使用したガスは，日本酸素 (株) 製 5-nine の Ar である。

3. 実験方法および考察

電子や中性粒子を計数するための MCP を動作させるためには，真空室を 5×10^{-5} Torr より高真空にする必要が

ある。そこで，差動排気特性を調べた結果を参考にして放電室のガス圧力の上限は 35 Torr とした。

EEA に印加する阻止電圧 V_R を 0 から上昇していくと，図 1 に示すようにパルス計数値は， N から単調に減少し 50 V 付近から一定となった。その計数値を， N' とする。このような阻止電圧特性から，電子エネルギー分布についての情報も得られるが，今回はこれには触れない。 V_R を印加し，パルス数 N' が一定値を示す状態では，

- (1) ピンホールより入った電子は EEA により完全に遮断されていると考えられ，更に
- (2) UV 光を照射しながら電極間電圧を 0 にするとパルス数は 0 になる。
- (3) 電極間電圧は印加したまま，UV 光を遮断するとパルス数は 0 になる。

などの実験結果から， V_R に対して平坦な値を示すパルス数 N' は，EEA を通過した準安定原子が MCP によって検出された信号であると判断した。 N から N' へ減少する図 1 の特性が連続的に変化しているので，MCP に電子が

図 1 EEA の遮断特性
Fig. 1. Retarding characteristics of EEA.

図2 電流、電子数と準安定原子数および電子1個当たりの準安定原子数の E/p_0 依存性
Fig. 2. E/p_0 dependence of current, numbers of electron and metastable atom and the ratio of metastable atoms to electron.

入射した場合と準安定原子が入射した場合の MCP の検出効率は、同じ程度であると推測される。

図2(a)に Ar 中の電流-電圧特性を示す。→印は自統放電開始点(SSD)である。(b)図は EEA の阻止電圧 $V_R=0$ と $V_R=165$ V の場合の MCP の出力パルス特性を示し、図1に従い、それぞれ N (黒: ▼▲◆■), N' (白抜き: ▽△◇□) で表示した。 N は陽極のピンホールに入射した電子数と準安定原子数の和、 N' は準安定原子数である。測定開始直後から E/p_0 の増加とともに N' の増加がみられるが、この傾向はモンテカルロシミュレーション⁽³⁾の励起

衝突発生数の結果からも確認できた。このような特性から N' は確かに準安定粒子を直接計数していると判断できた。(c)図は、準安定原子 N' と電子 $(N-N')=N_0$ によるパルス数の比 N'/N_0 である。この量は、陽極のピンホールから入った準安定原子数と電子数との比、言い換えると電子1個当たりの準安定原子数を表す。 N'/N_0 は非自統放電域では E/p_0 に対して減少し、自統放電に移行する直前から急激に増加する結果が得られた。

4. まとめ

差動排気技術と電子増倍管によるパルス計数法を用いて、放電空間の準安定原子を電子と分離して直接検出した結果を報告した。検出した準安定粒子数は自統放電開始直前に急激に増大した。このような結果は、電流-電圧特性に加えて、これまでにはなかった新しい角度から自統放電開始機構を論ずることのできる資料を提供するものと考えられる。その詳細については引き続き検討を行っている。

(平成6年11月25日受付)

文 献

- (1) S. Suzuki, H. Itoh, N. Ikuta & Sekizawa: *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 25, 1568 (1992)
- (2) S. Suzuki, H. Itoh, H. Sekizawa & N. Ikuta: *J. Phys. Soc. Jpn.*, 62, 2692 (1993)
- (3) T. Fukuyama, et al.: *ESCAMPIG 94'*, p. 230 (1994)

川崎 康正 (学生員) 1969年6月10日生。1993年3月千葉工業大学工業経営学科卒業。同年4月同大学大学院工学研究科電気工学専攻修士課程入学。現在、在学中。

伊藤 晴雄 (正員) 1945年9月11日生。1968年3月千葉工業大学電気工学科卒業。同年4月~1970年3月理化学研究所勤務。1972年3月徳島大学大学院工学研究科修士課程修了。同年4月千葉工業大学助手、現在、同教授。放電基礎過程の研究に従事。工学博士。日本物理学会、応用物理学会、静電気学会会員。

生田 信皓 (正員) 1929年10月22日生。1951年徳島工業専門学校電気科卒業。県立工業高校教諭を経て、1964年4月徳島大学工学部助手。その後、同工業短期大学部を経て、現在、同工学部電気電子工学科教授。コロナ放電現象の研究から、近年は放電基礎過程の研究に従事。工学博士。1972年電気学会論文賞受賞。日本物理学会、応用物理学会、日本分光学会会員。