負イオン移動度測定用高気圧ドリフト管の改良

学生員 木村 太郎* 正員 林 喬久*
正員 鈴木 進* 正員 伊藤 晴雄*

Improvement of High Pressure Drift Tube for Negative Ion Mobility Measurement

Taro Kimura*, Student Member, Takahisa Hayashi*, Member, Susumu Suzuki*, Member, Haruo Itoh*, Member

Negative ion mobility of oxygen molecules in oxygen has been measured by high pressure ion drift tube. The ion drift tube equips a positive corona gap as a negative ion detector. It allows for the measurement under the atmospheric pressure. The ion drift space is varied from 1 to 9 cm using a micrometer attached on a feedthrough of the chamber. The observed mobility decreases against E/p_0 and the tendency becomes remarkable in the shorter ion drift space. This would be caused by the field distortion effect near the mesh electrode. The electric field analysis is performed using a finite element method. It is found that field distortion is found by mesh electrode, separated the ion drift gap and the ion detecting gap. The mesh is changed in to new one of which diameter is 0.05mm. The obtained mobility can be improved and the reduced mobility $\mu_0^- = 2.31 \pm 0.03 \text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ is obtained.

キーワード：負イオン移動度，大気圧， O_2 ガス， O_2^- ，ドリフト空間

Keywords: negative ion mobility, atmospheric pressure, O_2 gas, O_2^- , drift space

1. まえがき

O_2 中における負イオン移動度測定は，著者らを含め多くの研究者により行われている^{(1)~(4)}。著者らの方法は⁽¹⁾⁽⁴⁾負イオン検出器にガイガーカウンターを用いているので，大気圧で測定できることに特徴がある。今回，新たに製作した装置を用いて，予備実験を行った結果について検討した。

2. 実験装置

図1はドリフト管の概略図である。イオンドリフト空間 G_1 は，陰極 C とメッシュ M (陽極)，ガードリング電極 D からなり，C-M 間は平等電界に保たれている。イオン検出ギャップ G_2 は，針電極 P とメッシュ M (陰極) で構成された正コロナギャップである。針電極 P の先端は直径 $\phi_p = 0.06 \text{ mm}$ の白金線であり，ここには抵抗 R を通してガイガーカウンター領域の電圧 V_p が印加される。

パルス紫外 (UV) 光を M と C に照射すると，2つの電極表面から電子が放出される。電界が低い場合電子は電極付近で直ちに分子に付着し負イオンが生成される。この2つの負イオン群が，それぞれ G_2 及び G_1 と G_2 を飛行して強電界の針電極近傍に到達すると，電子が離脱する。その電子は電離増倍を起こして，2つのバーストパルス BP_1, BP_2 を形成する。これらは M と大地間に接続した電流検出抵抗 r とオシロスコープ OSC で観測され，これらの時間差 τ より移動度を求めた⁽¹⁾⁽⁴⁾。

図1 実験装置

Fig. 1. Experimental apparatus.

3. 実験結果と考察

実験は全て1気圧，0 の気体密度中で行った。図2は酸素 (99.99%) 中において G_1 を1~9 cm まで変化しながら負イオン移動度を測定した結果である。同図 (a) 中の移動度の変化を右の (b) で拡大した。移動度は換算電界 E/p_0 が高くなっても一定である⁽¹⁾ が，今回の結果は高い E/p_0 で減少し，この傾向は G_1 が短いほど顕著であった。このような結果は， G_1 と G_2 を隔てているメッシュ電極近くの電界分布に原因があるものと予想された⁽⁵⁾ ので，有限要素法を用いて2次元電界解析を行った。

メッシュの構造を考慮すると電界分布は3次元空間で計算する必要がある。しかし計算が複雑化し，長時間を要するので簡素化を図った。

ここではメッシュを無限に長い円筒導体が等間隔で平行に並んだものとし，導体中心軸間の中心軸に垂直な直線上における電界分布を調べた。この直線は勿論，針電極の中

* 千葉工業大学工学部

〒275-0016 習志野市津田沼 2-17-1

Faculty of Engineering, Chiba Institute of Technology

2-17-1, Tsudanuma, Narashino 275-0016

図 2 負イオン移動度の測定値

Fig. 2. Measured values of negative ion mobility.

図 3 計算したメッシュ付近の電界分布

Fig.3. Calculated electric field distribution in vicinity of mesh electrode. $\phi_p=0.06\text{mm}$, $G_1=10\text{mm}$, $G_2=15\text{mm}$. $V_p=3300\text{V}$. E/p_0 varies (p_0 is constant).

心軸と一致し、針先端からメッシュを含む G_1, G_2 内にある。図 2 の実験では直径 0.25mm の銅線からなる 50 メッシュを用いたので、計算はこれと同じ直径の円筒が 0.508mm の間隔で並んでいるものとした。

図 3 は計算した電界分布である。同図中 M で示した領域はメッシュの導体部分にあたる。 G_1 側には E/p_0 で与えられる E を図中の右側に表示している。 G_1 の E/p_0 が G_2 の E より低くなると G_2 の電界が G_1 側に L で示した領域のように浸出し、メッシュ近くで一様な電界より高くなる領域が発生する。逆に、 G_1 の E/p_0 を高くすると、図 3 では $E/p_0 \geq 0.3\text{V/cm}\cdot\text{Torr}$ でメッシュ近くの電界は S で示した領域のように低くなる。このため G_1 の平等電界をドリフトして来たイオンは減速され、移動度は小さくなる。この移動度低下は、短い距離をドリフトするほど大きくなり、図 2 の結果はこのように説明できる。

実際のメッシュは格子状であるため図 3 の結果より L と S の浸出は少なくなると考えられる。このため図 2 では、S による影響が $E/p_0 \geq 0.1\text{V/cm}\cdot\text{Torr}$ でも現れている。

そこで、M を直径 0.05mm の 200 メッシュに換えて測定し直した。その結果が図 4 である。ここでは、 E/p_0 に対して移動度は平坦で、しかも変動幅も小さくなっている。Gosho

図 4 メッシュを変えた負イオン移動度の測定値

Fig.4. Measured values of negative ion mobility obtained by fine mesh.

ら⁽⁴⁾の測定結果のように高い E/p_0 で移動度が低下する傾向も解消した。そして換算移動度として $2.31 \pm 0.03\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ が得られた。この値は乗本ら ($2.03\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$)⁽¹⁾ Snuggs ら ($2.16\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$)⁽²⁾ Voshall ら ($2.47\text{cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$)⁽³⁾ が測定した O_2^- の値とよく一致した。

4. まとめ

ドリフト管は、2つのギャップがメッシュにより隔てられている。このため、避けることのできない電界歪みが生じる。この影響を小さくし移動度を決めるには、細かいメッシュにし、ドリフト空間を長くしながら測定するのがよいことがわかった。

(平成 16 年 7 月 28 日受付)

文 献

- (1) 乗本幸治・林 喬久・伊藤晴雄：「 O_2 中の負イオン移動度の測定」, 電学論 A, Vol.116-A, No.6, pp.488-493 (1996-6)
- (2) R.M. Snuggs, J.H. Schummers, D.W. Martin, E.W. McDaniel, and D.J. Volz: "Mobilities and Longitudinal Diffusion Coefficients of Mass-Identified Potassium Ions and Positive and Negative Oxygen Ions in Oxygen", *Phys.Rev.A.*, Vol.3, pp.477-487 (1971)
- (3) R.E. Voshall, J.L. Pack, and A.V. Phelps: "Mobility of Negative Ions in O_2 at Low E/N ", *J.Chem.Phys.*, Vol.43, No.6, pp.1990-1995 (1965)
- (4) Y. Gosho and A. Harada: "A new technique for measuring negative ion mobilities at atmospheric pressure", *J.Phys.D: Appl.Phys.*, Vol.16, pp.1159-1166 (1983)
- (5) 岸本恭隆・吉田公策：「MCS によるドリフトチューブ装置のシャッタ遮断特性の検討」, 電気学会放電研資, ED-03, No.109, 13-18 (2003)

木 村 太 郎 (学生員) 1980 年 8 月 13 日生まれ。2003 年 3 月千葉工業大学工学部電気工学科卒業。同年 4 月より千葉工業大学大学院工学研究科電気工学専攻修士課程入学。現在に至る。

林 喬 久 (正員) 電学論 A, Vol.116-A, No.6, p.493 (1996)

参照。鈴木 進 (正員) 電学論 A, Vol.122-A, No.2, p.223 (2002)

参照。伊藤 晴 雄 (正員) 同上