

山形幸彦\*, 河野靖彦\*, 村岡克紀\*, 赤崎正則\*, 前田三男\*\*

(Yukihiko Yamagata\*, Yasuhiko Kawano\*, Katsunori Muraoka\*, Masanori Akazaki\*, Mitsuo Maeda\*\*)

\*九州大学総合理工学研究科, \*\*九州大学工学部

(\*Grad. Sch. Eng.-Sci., Kyushu Univ., Kasuga \*\*Faculty of Eng., Kyushu Univ., Fukuoka)

SYNOPSIS: Optogalvanic signals in a glow discharge, induced by the laser excitations to Rydberg states from a metastable level of helium, were used to measure the electric fields. With a careful analysis of the various factors limiting the detection limit and an experiment to check the analysis, the detection limit of an electric field in a DC glow discharge was obtained to be 9.5 V/mm which was limited by the Doppler-width and excitation level of helium atoms.

### 1. まえがき

低圧グロー放電は薄膜の作製やエッチングなどの半導体プラズマプロセスに広く利用されている。この放電内の電極近傍の電界分布は、電子エネルギー分布関数や原子・分子の励起・解離・電離、あるいはシース領域中でのイオンの挙動など、プラズマ化学反応やプラズマ-固体面相互反応に重要な役割を果たしており、その詳細なデータが強く求められている。レーザー分光法によりシュタルク効果を観測すればグロー放電中の電界を高時間・空間分解で測定できることが報告されているが、<sup>1)~3)</sup> その測定精度、限界あるいはガス種等適用条件についての検討が不十分である。我々はこれらを明らかにした上で、最終的にはレーザー分光法をグロー放電中の電界の標準的計測法として確立することを目標としている。今回、直流グロー放電中のHe準安定原子をリユードベリ準位へ励起し、生じたオプトガルバノ信号を利用した電界測定において、その測定精度、限界に影響する種々の因子について解析し、その結果に基づいて測定下限を 9.5V/mmまで低下させた。

### 2. 実験方法

実験装置は放電容器及び真空排気系、可変波長レーザーシステム、オプトガルバノ信号検出系の3つの部分からなっている。真空排気した放電容器内にHeガスを導入し、圧力 3.9Torrで平行平板電極間 ( $\phi 40\text{mm}$ ,  $d=10\text{mm}$ ) に直流放電 ( $i=1.8\sim 5.7\text{mA}$ ) を安定に維持する。XeClエキシマレーザー (308nm) を可変波長色素レーザーの励起源とし、発振した基本波は KDP結晶を通して、Heの準安定状態  $2s^1S$  からリユードベリ準位  $np^1P$  ( $n=11\sim 19$ ) の遷移に対応する第二高調波 (315~325nm) へ波長変換した。第二高調波は、電極面に対して垂直に直線偏向されており ( $\Delta m=0$ )、円筒レンズを用いて  $0.1\times 1\text{mm}^2$  のシート状にして電極面に平行に入射した。オプトガルバノ信号はボックスカー積分器により積算し、入射レーザー光の波長の関数としてペンレコーダーに記録した。光学系の配置を変えずに電界強度の空間分布を得るために、両電極はX軸ステージ上に固定し、電極面に対してレーザー光の照射位置を相対的に変えた。

### 3. 実験結果及び考察

$n=11$ ,  $i=1.8\text{mA}$  の場合の測定下限となるシュタルクスpekトルをFig. 1に示す。このpekトルの各準位の分裂幅の測定により電界強度を求めると 21.5V/mmであった。各ピークの幅、すなわち測定下限に影響を及ぼす因子としては、(a) 励起体積中の電界分布、(b) レーザーのpekトル幅 (3.2pm), (c) レーザーのパワーブロードニング、(d) 励起原子のドップラー幅 (1.9pm), が考えられる。(a), (c) による影響は(b), (d) に比べはるかに小さく、従ってこの場合の測定下限はレーザーのpekトル幅によって決定されている。<sup>5)</sup>

Fig. 2にレーザーのスペクトル幅及び励起準位  $n$  に対する測定下限の依存性を示す。図中、実線及び破線はそれぞれシュタルク分裂幅がドップラー幅  $1.9\text{pm}$ 及びレーザーのスペクトル幅  $3.2\text{pm}$ と等しくなる電界強度を示している。レーザーのスペクトル幅をドップラー幅よりも狭帯域化すると ( $0.8\text{pm}$ )、測定下限はドップラー幅によって決定される値まで改善された。また、励起準位が大きくなるほど測定下限は低い値を示しているが、これは高準位ほどシュタルク分裂の幅が大きくなるためである。<sup>5)</sup> レーザーのスペクトル幅の狭帯域化と高準位への励起により測定下限は従来報告されていた値  $50\text{V/mm}^1$ よりも大きく改善され、 $n=19$ の場合  $9.5\text{V/mm}$ となった。

#### 4. まとめ

オプトガルバノ効果を利用したグロー放電内の電界分布測定において、その測定下限を決めている因子を明らかにした。その結果、従来報告されていた測定下限を、原子の励起準位 ( $n=19$ )とドップラー幅 ( $1.9\text{pm}$ )で決まる値 ( $9.5\text{V/mm}$ )まで改善できることを示した。

現在、この方法を反応性プラズマへ適用するため、時間・空間分解能や実際に希釈ガスとして用いられているArについて研究を行っている。さらに、電界によるシュタルクミキシングに起因する禁制線の出現を、レーザー蛍光法で観測する方法についても予定している。

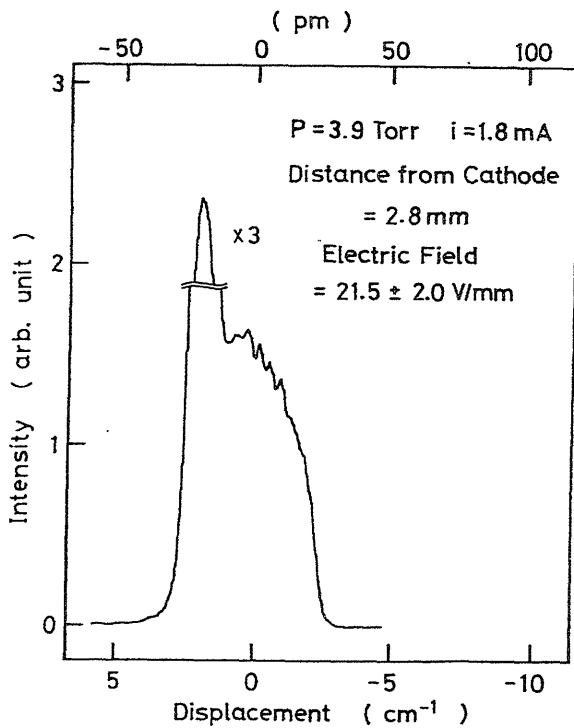


Fig. 1. Measured Stark spectrum of  $n=11$  at  $2.8\text{mm}$  from the cathode.

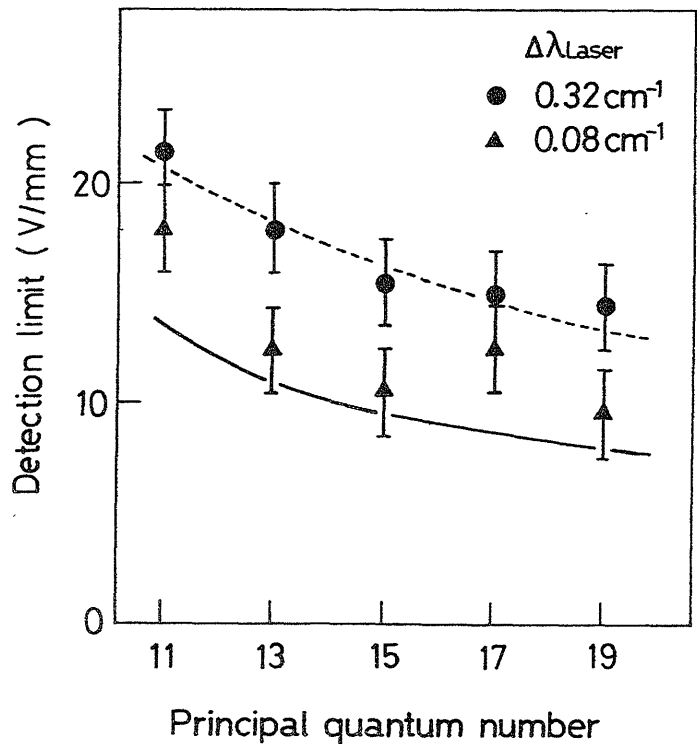


Fig. 2. Change of the lower detection limit with the principal quantum number to be excited and the laser spectral width.

#### 《参考文献》

- 1) D. K. Doughty and J. E. Lawler: Appl. Phys. Lett. 45 (1984) 611.
- 2) C. A. Moore, G. P. Davis and R. A. Gottscho: Phys. Rev. Lett. 52 (1984) 538.
- 3) J. Derouard and N. Sadeghi: Opt. Commun. 57 (1986) 239.
- 4) Y. Yamagata, K. Muraoka, M. Maeda and M. Akazaki: Proc. Jpn. Symp. Plasma Chem. 1 (1988) 107.
- 5) Y. Yamagata, K. Suenaga, K. Muraoka, M. Maeda and M. Akazaki: Jpn. J. Appl. Phys. 28 (1989) 565.