レーザーオリジナル

オプトガルバノ効果を用いた遠赤外光の検出

飯田慶幸*・岡本 浩*・西沢和彦**

小越澄雄**・桂井 誠*

(1988年11月9日 受理)

FIR Light Detection by Using Optogalvanic Effect

Yoshiyuki IIDA*, Hiroshi OKAMOTO*, Kazuhiko NISHIZAWA**

Sumio KOGOSHI** and Makoto KATSURAI*

(Received November 9, 1988)

FIR laser light detection by using an optogalvanic (OG) effect was demonstrated in the same laser material gas discharge for a $118.8\mu\text{m}$ CH_3OH laser. The relationship between OG signals and laser power is shown to be linear.

Key Words: Optogalvanic effect, Methanol laser, FIR light detector

1. 緒言

電離気体（プラズマ）中の原子・分子の光学遷移と共鳴する電磁波をプラズマに照射したときに、プラズマの電氣的性質（放電電圧、電流、インピーダンス等）が変化する現象をオプト・ガルバノ効果と呼んでいる^{1~4)}。オプト・ガルバノ効果は、すでにプラズマ中の電界や拡散係数の測定に使われている^{5~9)}。他、ガスレーザーの周波数安定化への応用^{10~14)}も行なわれている。

本論文では、この効果のレーザー光検出器への応用に関する研究について報告する。照射気

体レーザーと同一の媒質を封入した放電管に放電をかけ、そこにそのレーザー光を照射すると何らかの形の、いわゆるオプト・ガルバノ信号（以下OG信号と略）が得られる。この信号の強度がレーザー光強度に比例するならオプト・ガルバノ検出器はレーザー光検出器（一種の分光器付き）となりうる。この点に着目し、オプト・ガルバノ効果を用いた簡便で、安価な気体レーザー光検出器を製作できるかどうかを調べた。この方式では、OG信号を得るために必要な気体の選定についてわずわされることがないという利点をもつ。

本研究においては、遠赤外領域でのオプト・

* 東京大学工学部電気工学科（〒113 東京都文京区本郷7-3-1）

** 東京理科大学理工学部電気工学科（〒278 野田市山崎2641）

* Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Tokyo University (7-3-1, Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo)

** Department of Electrical Engineering, Faculty of Science and Engineering, Science University of Tokyo (2641, Yamazaki, Noda 278)

巻き付けたもので、プラズマ中の高周波磁界の変化を測定できるようにした。すなわち、高周波電源から加えられた磁束の変化分を打ち消す向きに、プラズマ内部に反磁性電流が流れる。この反磁性電流の大きさは電子密度に依存し、それが変化すれば、対応して反磁性電流の変化がおこりピックアップコイルに信号が得られる。

3. 実験結果および考察

3.1 OG信号の検出

ピックアップコイルを使用し、Fig.1の実験装置でOG信号を測定した。0.4Torrのメタノール蒸気の高周波電力を50W加えプラズマ化し、これにレーザーを照射した場合、1 mVを越す信号が得られた。一方、レーザー照射の無いとき、放電管中にプラズマが無いとき、または他のガス、例えばアルゴンガスをプラズマ化した場合には、50 μ V以下の信号しか測定できなかった。以上より、この信号がメタノールガスによるOG信号であると結論した。

またダブル・プローブ間に36Vの電圧を印加して、0.4Torrのメタノールガスのプラズマ中でOG信号の検出を試みたところ、レーザー強度がFig.3の1 a. u. (絶対値については 3.4 参照) に相当するとき46nAのプローブ電流の変化が観測された。

Fig.3 Dependence of the OG signal on the incident laser power. Methanol gas pressure, 0.5 Torr.

3.2 OG信号の特性

3.2.1 レーザー強度依存性

メタノールガス圧0.5Torr, 高周波電力25W, および50Wとしたときの、OG信号のレーザー強度依存性を測定した。測定結果をFig.3に示す。ここで、FIRレーザー出力は、レーザー光検出器の出力電圧が100mVの時を1 a. u.とした。また、レーザー出力は、RF放電を加える直前、直後に測定しレーザー出力の変化が $\pm 0.5\%$ 以内であることを確認した。

OG信号は測定した範囲内において、ほぼレーザー強度に対して線形であった。

Fig.4 Dependence of the OG signal on the methanol gas pressure (1). RF low power.

Fig.5 Dependence of the OG signal on the Methanol gas pressure (2). RF high power.

3.2.2 メタノールガス圧依存性

放電管のメタノールガス圧を変化させて OG 信号の測定を行なった。照射レーザー強度は実験中一定 (Fig.3 の 1 a.u. に相当) に保った。

高周波電力が 10W, 15W, 25W の場合を Fig. 4 に, 50W, 100W の場合を Fig. 5 に示した。高周波電力が 50W, 100W の場合においては, それぞれガス圧が 0.2 Torr, 0.3 Torr で OG 信号が最大となった。ただし, 圧力計の最小分解能が 0.1 Torr のため, これ以上圧力を細かく読みとることができなかった。

また高周波電力が 25W 以下の場合には, OG 信号は 0.1 Torr で最大となっている。高周波電力がいずれの場合においても, ほぼ 0.7~1.0 Torr を境として OG 信号が急減した。

3.2.3 バッファガスの影響

メタノールにバッファガスとしてアルゴンを混入したときの OG 信号の大きさを Fig. 6 に示した。メタノールガスは 0.4 Torr とし, 混入するアルゴンガスの圧力を 0~2.0 Torr と変化させ, OG 信号を測定した。レーザー強度は, 一定 (Fig.3 の 1 a.u. に相当) に保った。

測定した範囲においては, アルゴンを加えるにしたがって信号が小さくなっていくことが確認された。

Fig. 6 Effect of a buffer gas on the OG signal. Methanol gas pressure, 0.8 Torr, Laser intensity corresponding to 1 a.u. of Fig. 3, RF power, 50W.

Fig. 7 Dependence of plasma parameters on the gas pressure. RF power, 50W.

3.3 プラズマパラメータの測定

ダブル・プローブを用いて, 高周波電力が 50W 一定としたときの, ガス圧に対するメタノールプラズマの電子温度と電子密度の変化を測定した。結果を Fig. 7 に示した。電子温度はほぼ 7 eV 程度, 電子密度は 10^{10} cm^{-3} のレベルであった。

3.4 考 察

本実験の検出系における OG 信号は, $V_{OG} = 4.2 \text{ mV}$ が最大であった。ただし, レーザー強度は Fig. 3 の 1 a.u. に相当し, 高周波電力 100W, 0.3 Torr メタノールガス圧のときこの値を得た。また測定した範囲内においては, OG 信号がレーザー強度に対してほぼ線形であることがわかった。これを FIR 光検出器として見た場合の性能評価を行なってみる。

Fig. 1 で, 左端の FIR レーザー (出力 P_0 , 面積 S_0) は, 放電管ヘテフロン窓 (波長 $118.8 \mu\text{m}$ の光の透過率 (T_F) 約 70~90%¹⁷⁾, その断面積 ($S_1 \phi$) は 12 mm^2 で S_0 と同じ) を通して入射した。直径 $2 \text{ mm} \phi$ ($S_2 \phi$) の焦電検出器はシリコン窓 (厚さ 5 mm) を持ち, この窓材の波長 $118.8 \mu\text{m}$ の光に対する透過率 (T_{Si}) は, 含有する不純物の種類・濃度によって大きく異なるが, こ

では T_{s1} を5~50%と仮定した。こうすると、焦電検出器に入ったレーザーパワーは $P_D = T_F^2 T_{s1} S_2 \phi (P_0/S_0)$ と表わされる。一方、レーザービーム検出器に用いた焦電形素子のチョップ周波数18Hzにおける感度は、155V/Wである。レーザー信号は焦電形素子で検出された後、増幅器により、50倍に増幅して測定した。以上より、レーザー出力1a.u.におけるレーザービーム検出器の出力は100mVなので、このとき検出器に入ったレーザーパワーは $P_D = 1.3 \times 10^{-2}$ (mW)と考えられる。これから、レーザーの相対強度1a.u. (Fig. 3における) が絶対値として何Wなのか見積ると、レーザーパワー P_0 (1a.u.相当) = 1.2~19mWとなる。また、プラズマに入射したレーザー入力1~13mWとなる。従って、高周波電力100W、メタノールガス圧0.3Torr時の感度は、0.3~4 V/Wと推定できる。

一方検出が可能な波長118.8 μ m光の最小強度は、レーザー照射がないときの雑音信号、最大30 μ Vより、S/N比1を検出限界とすると、8~100 μ W (プラズマに入射したレーザー入力)と推定できる。

4. 結 言

レーザー媒質と同一気体を用いたオプトガルバノ効果により、分光機能付きの遠赤外レーザー光検出器が製作可能であることを示した。

今回用いた装置の検出感度は約0.3~4 V/W程度、最小の検出可能レーザー出力は約8~100 μ V (S/N比1を検出限界として)であった。

今後は、(1)遠赤外光とCO₂レーザー光を同時に照射する2重共鳴¹⁸⁾を用いた感度の向上、(2)時間分解能の測定、(3)他の気体レーザー光での追試、(4)照射レーザー光強度の絶対校正、

等を行う予定である。

本報告を投稿するにあたり東京大学工学部、神谷武志教授には、御助言、激励をいただきました。厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) F.M. Penning: *Physica* **8** (1928) 137.
- 2) 宮崎健創: レーザー研究 **11** (1983) 257.
- 3) 鈴木隆則, 加藤博, 野宮芳雄, 粕谷敬宏: レーザー研究 **3** (1981) 11.
- 4) 宮崎健創: 応用物理 **53** (1984) 590.
- 5) R.A. Gottscho and T.A. Miller: *Pure and Appl. Chem.*, **56** (1984) 189.
- 6) O.A. Novodvorskii, A.B. Ilyukhin, and Yu.Ya. Kuzyakov: *Zh. Prikl. Spektrosk.*, **47** (1987) 385.
- 7) J.E. Lawler, D.K. Doughty, E. Den Hartog, and E. Benck: *Digest of Technical Papers. 5th IEEE Pulsed Power Conference.* (1985) 371.
- 8) Shy Jow-Tsong and Yen Tsu-Chiang: *Opt. Lett.* **12** (1987) 325.
- 9) D.K. Doughty and J.E. Lawler: *Appl. Phys. Lett.* **45** (1984) 611.
- 10) M. Schneider, A. Hinz, A. Groh, K.M. Evenson, and W. Urban: *Appl. Phys. B Photophys. Laser Chem.* **B44** (1987) 241.
- 11) Shy Jow-Tsong and Yen Tsu-Chiang: *Opt. Commun.* **60** (1986) 306.
- 12) B.N. Ganguly, J.R. Shoemaker, B.L. Preppernau, and A. Garscadden: *J. Appl. Phys.* **61** (1987) 2778.
- 13) S. Yamaguchi and M. Suzuki: *Appl. Phys. Lett.* **41** (1982) 597.
- 14) E.F. Plinski, R. Nowicki, J. Pienkowski, and J. Rzepka: *POMIARY AUTOM. KONTROLA* **29** (1984) 13.
- 15) 岡本 浩: 東京大学工学部電気工学科卒業論文, 1988年2月29日提出.
- 16) 吉川秀司等: 「真空ハンドブック」, 日本真空技術 k.k., (1987).
- 17) 工藤恵栄: 「分光学的性質を主とした基礎物性図表」, 共立出版株式会社, (1972).
- 18) K. Miyazaki, H. Scheingraber, and C.R. Vidal: *Phys. Rev. A* **28** (1983) 2229.