

機関番号：13501

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20560045

研究課題名(和文) 外部光照射による壁電荷変調とマイクロバリアー放電制御

研究課題名(英文) The external optical control of microbarrier discharges and its modulation of surface charges

研究代表者

櫻井 彪 (SAKURAI TAKEKI)

山梨大学・名誉教授

研究者番号：00092841

研究成果の概要(和文)：

プラズマディスプレイパネルなどに用いられるマイクロバリアー放電の高速応答可能な外部制御技術の開発が望まれる。本研究ではマイクロバリアー放電の壁電位が微弱 YAG レーザーパルス光を用いて変調できることを明確にし、その結果として外部レーザー光照射によってアレイ型マイクロバリアー放電が誘起・制御できることを示した。これらの技術はプラズマディスプレイパネルの高精細・高密度化に寄与するばかりでなく、種々のマイクロスケールの計測技術の分野に寄与できるものと考えられる。

研究成果の概要(英文)：

An external control with a fast temporal response for a microbarrier discharge has been developed. It is experimentally found that the wall voltage of the microbarrier discharge is modulated by an external irradiation of YAG laser with a weak intensity. As the results, the breakdown of microbarrier discharges is induced and one dimensional array-type microbarrier discharge device can be controlled by the external optical irradiation of a pulsed laser. The technique of the optical control of microdischarge is helpful for further development of super precise display panel and for various applications of microscale measurements

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：プラズマエレクトロニクス

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎・応用物理学一般

キーワード：マイクロバリアー放電、パルスレーザー照射、壁電位変調、外部光放電制御、二次元放電パネル、非線形光学結晶、レーザープラズマ分光

1. 研究開始当初の背景

プラズマディスプレイパネル放電など広範囲の需要が期待されるマイクロバリアー

放電では、壁電荷が放電特性を決定する重要な因子である。このマイクロバリアー放電の制御には現在電子回路が用いられているが、

すでにその高速応答性は限界に近い。更なる画像の高精細化や高密度化を達成するには、他の手段による高速応答が可能な外部制御技術の開発が望まれる。

2. 研究の目的

筆者らは以前からバリアー放電の放電特性を決定する主要因である壁電荷に注目してきた。そして壁電荷動的特性の実時間測定技術の開発を進め、帯電と放電の関係を明らかにしてきた。さらに外部照射光によって、放電セル内の壁電位が変化することを見出していた。

これらの研究成果を踏まえて、本研究目的の第一は、パルスレーザー照射によるマイクロバリアー放電内誘電体表面壁電位の変化の様子を定量的に測定し、その結果を詳細に検討し、壁電荷の変化を把握するなど照射による壁電位変化の原因と機構を明確にする。目的の第二は、この照射によるマイクロバリアー放電誘電体表面壁電位変調の現象を利用して、パルスレーザー照射によるマイクロバリアー放電の外部光制御の可能性を追求し、技術を確立し発展させることである。これらの技術開発はプラズマディスプレイパネルの今後の高精細・高密度化などに寄与するばかりでなく、種々のマイクロスケールの計測技術の分野に応用できると考えられる。

3. 研究の方法

(1) 電気光学結晶 (BSO) 薄板を誘電体として用いたマイクロギャップやミリギャップのバリアー放電装置を製作し、この放電装置特性を把握するために真空チャンバー内に設置し、希ガスを用いてガス圧力特性を観測する。

(2) 円偏光の波長安定化半導体レーザーを真空チャンバーの窓を通して導入し、放電装置の電気光学結晶を垂直に透過したレーザー光の偏光特性を高感度 CCD カメラで観測する。観測した偏光特性をパソコンで解析し、バリアー放電の誘電体表面壁電位・壁電荷の動的特性を実時間で測定する。その結果よりバリアー放電特性と壁電荷振舞いの関係を正しく理解する。

(3) 放電用の印加パルス電圧に同期した小型 YAG レーザーを外部から真空チャンバーの窓を通してバリアー放電誘電体上に照射する。この YAG レーザー照射による壁電位変化の影響を上記 (2) の方法で観測し、壁電位が外部光で変調できることを確認する。

(4) パルスレーザー照射による壁電位変

調の現象を詳細に解明するために、レーザー光強度、照射場所、照射時間などの依存性、あるいは放電の有無や印加パルス電圧の周波数の影響を詳しく調べる。

(5) 上記 (1) ~ (4) の実験結果を総合的に見て、外部照射による壁電位変調の機構を解明する。

(6) パルスレーザー照射による壁電位変調が確認できた時点で、外部レーザー照射によるバリアー放電制御が可能であることを直接観測する。具体的には放電電流や放電プラズマ発光を測定して、その波形からバリアー放電が外部照射で誘起できることを確認する。

(7) 以上の研究から単一マイクロギャップバリアー放電の外部光制御が可能であることを確認した後、次の段階として同一平面型マイクロギャップ一次元アレー型バリアー放電装置を製作し、ディスプレイパネルの外部光制御の可能性を追求する。具体的には誘電体には BSO 結晶薄板 (厚さ 100 μm) を使用し、一放電セルの電極間ギャップ間隔は 100 μm とし、10セルを一次的に配置する。一セルの放電面積は 0.5 x 1.5 mm で、10セルの長さは 15 mm である。このアレー型マイクロ装置を真空チャンバー内に設置し、希ガスを封入して放電特性を測定し、放電開始電圧や放電維持電圧などを詳しく把握する。図 1 に製作する一次元マイクロアレー型放電装置を示す。

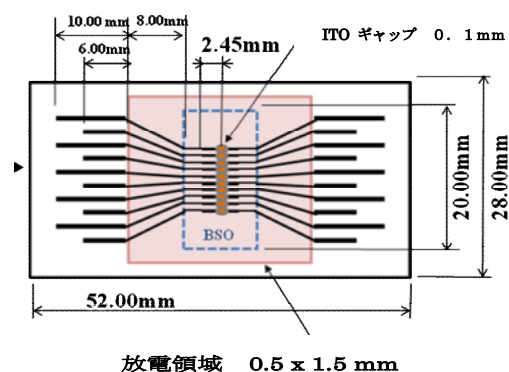


図 1

(8) 上記 (7) で制作した装置に小型 YAG レーザーを照射し、レーザー照射位置、照射時間と放電の開始や維持特性をアレー装置として明確にする。そして外部照射によるマイクロギャップ一元アレー型放電装置の

制御を確認し、二次元ディスプレイやマイクロ計測応用に向けての可能性を示す。

4. 研究成果

(1) 電気光学結晶 (BSO) を誘電体としたマイクロギャップのバリアー放電装置を作成し、真空チェンバーに設置後 Ne-Xe (10%) 混合ガスを封入し、バリアー放電を行い、壁電位・壁電荷の時間変化を波長安定化半導体レーザーによる偏光分光法 (筆者らによって開発) によって観測した。その後、パルス YAG レーザー (パルス幅 10ns、波長 533nm) を外部照射し、次のことを確認した。

① 壁電位がレーザー照射と同期して変動できる。

② 光照射壁電位変化量は YAG レーザー強度が $0.5 \mu\text{J}$ までは強度に直線的に比例して増加するが、その後飽和傾向を示す。

③ 壁電位変化量には二種類の緩和過程が存在する。変化量の子成分はその寿命がおよそ 20 ms であるが、微小な成分の寿命は約 $100 \mu\text{s}$ である。

④ YAG レーザー照射位置では壁電位変化が観測できるが、非照射位置では壁電位変化は観測できない。

⑤ 以上の実験結果を詳しく解析し、この現象が次のような過程から発生していると判断した。壁電位変化の寿命の長い主成分は、

- a) 外部照射光による電気光学結晶の非線形電気感受率の変化、
- b) 電気感受率変化に伴う誘電率の変化、
- c) 誘電率変化による壁電位変化に基づく。

一方、寿命の短い壁電位変化小成分は誘電体表面の光電子放出によるものと考えられる。

(2) YAG レーザー照射による上記バリアー放電への影響を明確にするために、過渡的放電電流や過渡的放電プラズマ発光波形を観測した。その結果

① 放電維持電圧近傍では、YAG レーザー非照射時には放電開始時間が統計的にばらつくが、レーザー照射時には照射直後に放電開始が集中することが観測された。非照射時 (a) と照射時 (b) の電流波形を図 2 に示す。緑の波線は YAG レーザー照射時間を示す。

② 高感度 CCD カメラを用いて過渡的プラズマ発光を観測したが、その結果を図 3 に示す。YAG レーザー非照射時 (a) には統計的にばらつく放電が、照射時 (b) には照射直後に集中した。図 3 において、矢印は YAG レーザー照射時間を示す。実験において誘電体として電気光学結晶 BSO を用いない場合は、外部光照射による放電誘起は確認できなかった。

③ これらの事実から次のことが示される。a) YAG レーザー照射壁電位変化による誘電体表面上のバリアー電極間電圧の増加、b) 印加電圧一定でも実質の電極間電圧の増加によ

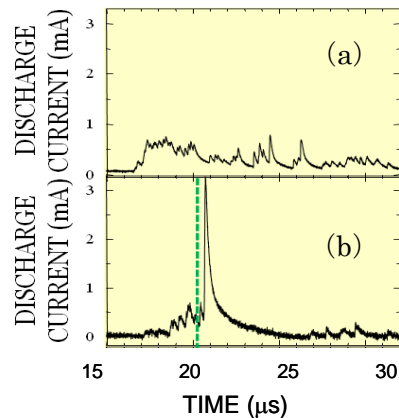


図 2

り絶縁破壊が発生する。

④ 結果として放電維持電圧近傍では外部パルスレーザー照射によってバリアー放電が誘起され、放電制御できることが明確となった。

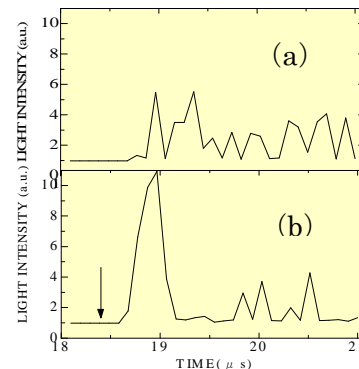


図 3

(3) 研究方法の図 1 で示したが、同一平面型マイクロギャップ ($100 \mu\text{m}$) バリアー放電を 10 個並列配置した一次元 10 セルアレー型放電装置を真空チェンバー内に設置し、真空排気後 Ne+Xe (10%) 混合ガスを 300 Torr 封入して 400 Hz のパルス電圧を印加して放電させた。この装置の放電開始電圧は 750 V で、10 セルすべてで放電が点灯し、10 セル点灯のための最低放電維持電圧は約 680 V であった。この状態で放電を止め、0 V から印加電圧を上昇させ、700 V に保ち、すべてのセルが放電していない状態で YAG レーザー (繰り返し数はパルス印加電圧に同

期した 800 Hz で、照射部のレーザー面積の半径はおよそ 0.5 mm) を照射させると YAG レーザー照射の一セルで放電する。この様子を図 4 (a) に示すが、下から第三セルが放電している。

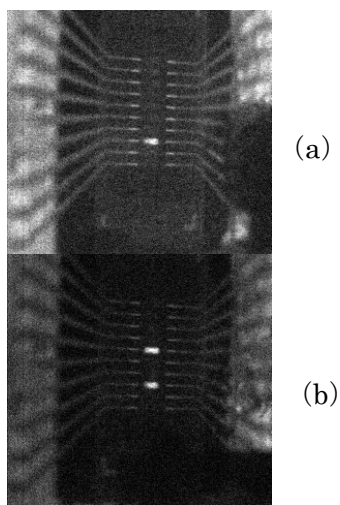


図 4

電圧を変化させて実験を繰り返したが平均して 700～720 V の範囲でレーザー照射により放電が誘起できた。一度放電した状態はレーザー照射を止めても放電は維持される。したがって、YAG レーザー照射位置を他のセルへ移動させてゆくと、それに応じて点灯放電セル数も増加してゆく。この様子を図 4 (b) に示すが、第三と第六セルが放電している。レーザー照射によって任意の位置、任意の数の放電を誘起できることが分かった。印加電圧が 720 V 以上になるとレーザー照射により複数の放電が同時に点灯するなど放電の制御が不安定になる。

(4) (3) で使用したアレー型装置は放電開始電圧や維持電圧などに経時変化があり安定性がなく、本装置での詳しい壁電位の長時間測定はできなかった。今後の実用に向けては、安定したアレー型装置を製作し、それを用いての壁電位の変化やより定量的な特性データの蓄積が必要と思われる。

(5) 成果をまとめると、外部照射パルスレーザーによる壁電位変化を解明し、バリアー放電の誘起・制御が技術的に可能であることがわかった。さらに二次元マイクロアレーバリアー放電パネルにおいて、外部光照射によって任意の場所の放電を誘起できることを示し、実用として外部光照射によるマイクロバリアー放電制御が可能であることを示した。これらの成果は世界的にみても独創的な研究成果であり、今後の継続した研究が望まれる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 5 件)

- ① T. Sakurai and S. Kubota, Micro-barrier discharge controlled by an external irradiation of laser, Proceed. of 20th European Conf. on the Atomic and Molecular Physics of Ionized Gases, No. 2. 33, 査読有, Novi Sad, Serbia, 2010 July.
- ② S. Kubota, H. Yoda, H. Hori and T. Sakurai, Behaviour and external optical control of surface charges in a coplanar barrier discharge analyzed from transverse and longitudinal electric field measurement, Plasma Sources Sci. Technol., 査読有, 18 巻, 2009, pp1-8.
- ③ A. Tauchi, T. Sakurai and H. Hori, Basic study on mercury-free ultraviolet emitting metal halide lamp, Proceed. of 29th Intern. Conf. on Phenomena in Ionized Gases, PB15-1, 査読有, Cancun, Mexico, 2009 July.
- ④ T. Sakurai and S. Kubota, External optical control of surface charges in a barrier discharge, Proceed. of 19th European Conf. on the Atomic and Molecular Physics of Ionized Gases, No. topic 4, 査読有, Granada, Spain, 2008 July.

〔学会発表〕(計 4 件)

- ① 田内 亮彦、櫻井 彪、堀 裕和、紫外線発光メタルアライドランプ水銀フリー化の基礎研究、電気学会プラズマ研究会、PST-09-82, 2008. 12. 20、同志社大学
- ② 濱崎 崇志、竹内 希、安岡 康一、櫻井 彪、誘電体バリアー放電を用いた電気流体力学流における誘電体表面電荷の影響、電気学会プラズマ研究会、PST-08-78, 2008. 12. 21、同志社大学
- ③ 久保田 悟、櫻井 彪、同一平面型バリアー放電の外部光制御、第 68 回応用物理学会学術講演会、2008. 9. 2、中部工業大学
- ④ 河西 寛之、櫻井 彪、希ガス大気圧マイクロプラズマジェットの特長、第 68 回応用物理学会学術講演会、2008. 9. 2、中部工業大学

〔図書〕(計 1 件)

- ① 日本学術振興会プラズマ材料科学第 153 委員会編、櫻井 彪ほか執筆、大気圧プラズマ(基礎と応用)、オーム社、2009, pp158-164.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

櫻井 彪 (SAKURAI TAKEKI)

山梨大学・名誉教授

研究者番号：00092841

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし