

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月17日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21360042

研究課題名（和文） プラズマディスプレイパネルの高効率発光機構に関する研究

研究課題名（英文） Studies on the efficient emission mechanism of plasma display panels

研究代表者

内野 喜一郎（UCHINO KIICHIRO）

九州大学・総合理工学研究院・教授

研究者番号：10160285

研究成果の概要（和文）：

プラズマディスプレイパネル（PDP）で、紫外線の高効率の発生が最近報告されている。その一つの要因としては、放電の単パルス化が関わっているが、それがどのように発光効率改善に結びついているかは明らかでない。本研究では、放電プラズマ中の電子密度、電子温度という基本的パラメータの計測をもとに、高効率発光と単パルス放電構造との関係の解明を試みた。PDP を模擬する放電と針対半球電極系での容量結合放電（CCD）を対象に、実際に単パルス化で紫外線発光の効率が改善されることを確認し、その原因について検討した。

研究成果の概要（英文）：

Recently, there are some reports that show the high efficacy in the ultraviolet generation from the plasma display panels (PDP). One of the factors allowing such high efficacy is the pulse width to be very short. However, the mechanism how the short pulsed discharges are related with the high efficacy is not clear. This study aims to clarify the mechanism based on the measurements of basic parameters such as electron density and electron temperature of short pulsed discharges. Measurements were performed for the dielectric discharge simulating the PDP discharge and a capacity coupled discharge (CCD). It was confirmed that the short pulsed discharges for both realized improvements in the ultraviolet generation, and possible causes for that are discussed.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	9,600,000	2,880,000	12,480,000
2010年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2011年度	2,300,000	690,000	2,990,000
総計	14,200,000	4,260,000	18,460,000

研究分野：工学

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：プラズマ、ディスプレイ、発光効率、真空紫外線、トムソン散乱、電子密度、電子温度

1. 研究開始当初の背景

ディスプレイの大型化により、一台あたりの消費電力の低減は PDP をはじめ大型ディスプレイ開発の大きな課題となっている。現在製品化されている PDP の発光効率は最大

で 2 lm/W 程度であるが、これを決める要素の中で、放電エネルギーから紫外線発光への変換効率は数 % と蛍光灯の 10 分の 1 しかない。従って、そこを改善すれば発光効率を上げることができ、さらには消費電力の低減が

可能になる。実際、最近の研究で、放電ガス中の Xe の分圧を数 10 % まで高めることで、ブラウン管と同等の発光効率 5 lm/W を得たとの報告がなされている。(①G. Oversluizen, T. Dekker: “High-efficacy PDP microdischarges”, Journal of the SID 13/11, pp. 889-895 (2005)、②秋山利幸、他: “高発光効率を実現する高 Xe 分圧ガス条件下の電極構造と波形条件”、2007 年映像情報メディア学会年次大会) ①では、Xe 分圧を 50 % などと高く設定し、繰り返し周期の短い電圧パルス印加するとき高発光効率を得ている。②では、Xe 分圧は 20 % でも、電極奥行き幅(電極ギャップに垂直な方向)を 50 μm と極端に狭くしたときに高発光効率を得られるとの結果を報告している。いずれも高 Xe 分圧での放電であるから、Xe₂ エキシマの発光(174 nm を中心に 10 nm オーダーの広がりを持つ)が関与していることと、周期が短いあるいは電極幅が狭いということから放電時間が短いことが高発光効率に結びついているものと思われる。しかしながら、具体的に放電プラズマがどうなった結果、そのような高効率を得られているのかは不明である。また、Xe 分圧が高いために、放電の駆動電圧は 300V 程度と高く、実用化には至っていない。

2. 研究の目的

本研究では、PDP マイクロ放電の過程をプラズマパラメータの計測を通して詳しく調べることで、高発光効率の得られる放電の機構を明らかとすることを目的とする。そのような機構が明らかになれば、実用的な高効率発光 PDP の開発の方策が明らかになると期待される。そのための計測法には、筆者等が開発してきたレーザートムソン散乱(LTS)法を中心とし、紫外から赤外に至る波長域での分光計測法や ICCD カメラを用いたイメージ計測法を援用した。

3. 研究の方法

高効率 PDP を得る方法の一つは、①高 Xe 分圧で高電圧短パルス放電を形成する方法である。他にも様々な方法が提案されているが、次に有力な方法は、②長ギャップ放電である。①については、短パルス化するため、研究の背景の節で述べた秋山らの狭奥行き放電を模擬する電極を製作した。これまでに用いてきたトムソン散乱計測が可能で PDP の放電維持電極を模擬する電極基板(幅 2mm、厚さ 3mm 長さ 50mm のガラスの上にギャップ間隔 0.1mm の対向型電極を形成し誘電体と MgO 膜で被覆したもの: 図 1)に、厚み 0.2 mm、幅 2 mm、長さ 20 mm のカバーガラスを貼り付けて、ギャップ両側に 0.15 mm だけ電極部がむき出しになった形の狭奥行き電極基板とした。また、比較用に奥行き長さ 0.5 mm

の電極基板も製作した。

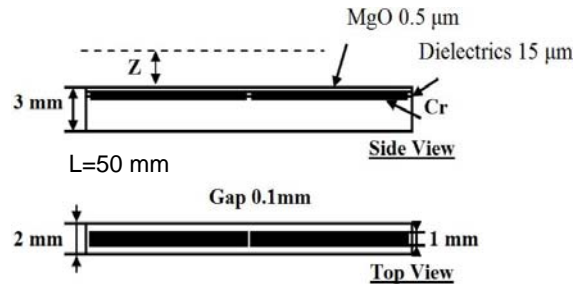


図 1 電極基板

図 2 に、この電極基板による PDP 模擬放電に対しての LTS 計測の配置を示す。電極基板を小さなチャンバー内に取り付け、側面の窓からレーザーを入射して、上部の窓から散乱光を観測した。分光計測や ICCD カメラを用いたイメージ計測の際は、上部の窓を利用して、それぞれの光学系を設置した。Xe の分子線である 174 nm 付近の真空紫外光の分光的測定の際は、上部窓の窓材をフッ化カルシウム製のものに交換し、更に上部に真空容器を設置して、フッ化カルシウム製のレンズを配置し、真空紫外線用分光器まで 174 nm 光を伝送した。

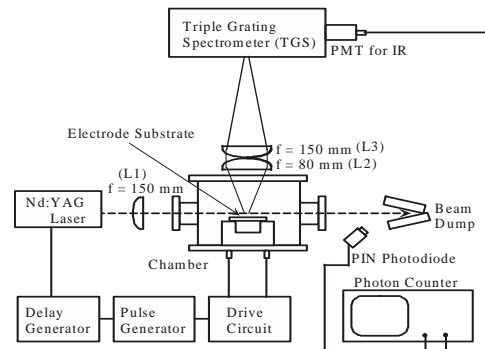


図 2 PDP 模擬放電の LTS 計測配置

②の長ギャップ放電については、効率改善は陽光柱を利用することで行おうとする発想によるものであるが、この場合も、短パルス化は有効であると考えられる。そこで、針と半球電極を 0.5mm のギャップで対向させた電極対を用い、短パルス化のため、容量結合放電(Capacity Coupled Discharge, CCD)とした。具体的には、図 3 の放電回路を用いた。DC 電源の電圧は、3kV である。電極の下に付けたコンデンサー(この例では 50 pF)の容量を変化させることで、放電のパルス幅を変化させた。このコンデンサーの存在が、CCD 放電と誘電体バリア放電(PDP もその一つ)の消弧機構を共通のものとしている。この回路では、高電圧の半導体スイッチを用いた早い立ち上りの放電回路を用いることで、放電のジッターを数 ns に抑えることができ、電極間隔が狭いことで放電の空間的な再現性も確保できた。放電構造が軸対象性を持つ

ことから、トムソン散乱計測も詳しく行うことが可能となった。

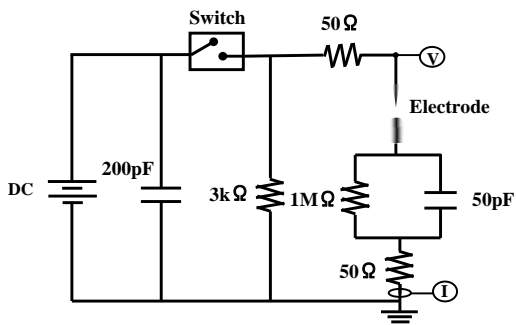


図3 CCDの放電回路

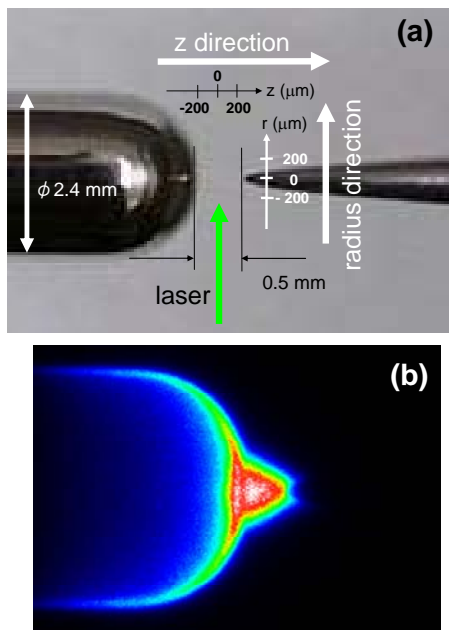


図4 (a)針体半球の電極配置と (b) CCD プラズマからの発光写真

図4に、CCD放電の針対半球電極対の写真とそれへのレーザービーム入射の配置(a)、および同電極対間で形成された放電の発光イメージ(b)を示している。この放電プラズマの詳細な電子密度、温度の分布とその時間変化のトムソン散乱計測の確立を行った。そこでは、400TorrのNeを動作ガスとした。

CCD放電による真空紫外光の発光効率を調べるため、上記NeガスにXeガスを10~20%添加し、174nm光の発光イメージをこの波長域に感度をもつICCDカメラで観測した。図2のPDP模擬電極での実験と同様の、放電チャンパーとその上の真空容器内に設置したフッ化カルシウムレンズで発光イメージをICCDカメラ光電面に伝送した。

4. 研究成果

(1) PDP狭奥行き模擬放電電極での研究

○Xe原子とNe原子の可視および近赤外域での発光線について、時間的・空間的進展の様子をICCDカメラにより観測した。その結果、比較的高い印加電圧と高Xe分圧(10%以上)の条件では、発光強度の時間的立ち上がり時間が数10nsと速く、また放電の空間的広がりも時間的に進展するより電極全面に短時間で広がって形成されるという、PDPテストパネルにおいて観測されていると同様の現象が確認された。

○Xeの分子線である174nm付近の真空紫外線発光の分光的測定を行った結果、Xe分圧10%以上の場合について、長さ0.15mm電極基板の方が長さ0.5mm電極基板より真空紫外線発光効率が2倍程度高いことが確認された。

○分光的観測から、狭奥行き放電による発光効率改善が、本研究の模擬電極でも観測されたので、放電構造をトムソン散乱計測で調べる実験を行った。その結果、比較的高い電圧と高Xe分圧(10%以上)の放電の場合は、電極エッジ部の狭い領域で電子密度が極めて高くなることが観測された。この結果は、電極の狭い領域に紫外線発生が集中するため、余分な領域のない狭奥行き放電での効率がよくなったことを示唆する。

○PDP模擬放電プラズマにおいて、トムソン散乱で得られた電子密度は、 10^{20} m^{-3} を超えるものであった。その場合、Xeイオンの再結合過程が紫外線発光に20%にも及ぶ寄与をする可能性がある。そのため、実際のPDP放電にも適用できるシュタルク効果を用いた電子密度測定の可能性について検討した。模擬電極放電において、Ne/Kr混合ガスに水素を1%以下の微量添加することで、バルマーβ線の広がりから電子密度を評価した。その結果、この方法でも 10^{20} m^{-3} を超える電子密度が得られ、トムソン散乱計測の結果をサポートするものであった。

(2) CCDの放電構造詳細計測

○400TorrのNeを動作ガスとしたCCD放電で、放電開始後30nsにおいてトムソン散乱法により測定した電子密度、電子温度の分布を図5に示す。この放電は、図3の回路定数で生成されたもので、電流は放電開始後20nsでゼロとなった。電子密度、電子温度の時間変化の測定結果から、電子温度は放電開始直後の3.5eVから40ns後には1eV程度以下まで急激に減少し、電子密度は放電開始から40nsまではほぼ一定で、その後、時定数100ns程度で再結合により減少していくことがわかった。

○図5において、測定空間分解能は50μmとなっている。すなわち、このような高い分

解能で10%以内の誤差で詳細な放電の構造を測定可能とした。なお、この放電でも水素ガスを微量添加し、シュタルク計測法から電子密度を評価した。その結果は、トムソン散乱計測結果とよく一致するものであった。

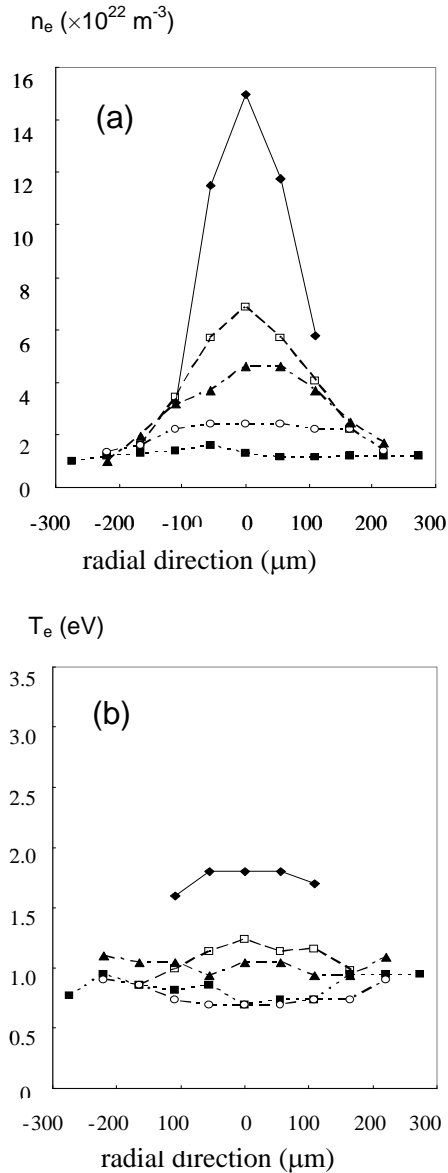


図5 (a) 電子密度と (b) 電子温度の軸方向 5点での半径方向分布。Z=200 μm , 100 μm , 0, -100 μm , -200 μm .

(3) CCDの紫外線発光効率に関する研究

○Ne ガスに Xe ガスを 10~20%混合して CCD 放電からの Xe 分子線 (174 nm) の 2 次元発光分布を、真空紫外光に感度を持つ ICCD カメラで測定した。前述のように電流は 20ns 程度でなくなるが、Xe 分子線は放電が終わってから立ち上がり、数 10 μs の間続

く。図 6 は、放電開始後 100ns から 10 μs 後までの積算発光イメージである。図 4 の可視光の発光領域より明らかに広がっており、プラズマ中心より周辺部で強度が大きい。2 次元的な分子線発光分布の解析は、今後の課題である。

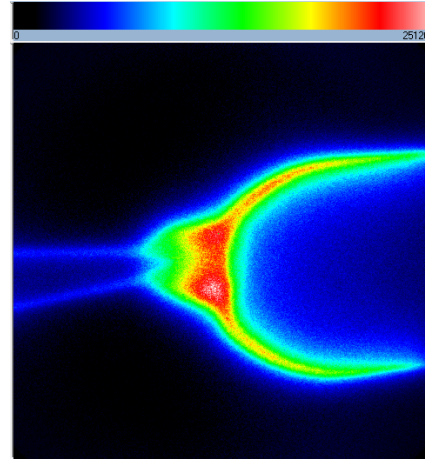


図 6 Xe 分子線の発光イメージ

○CCD の放電電荷制約用コンデンサーの容量を、50pF から 300pF の範囲で取り換え、放電のパルス幅をこれで変化させた。その結果、Xe 分子線の発光量は、容量を増やすほど減少する傾向を示し、単位電荷量 (あるいは単位エネルギー) 当りにすると、50pF の場合が 300pF の場合の 10 倍以上に発光量が大いことがわかった。図 7 では、放電電流の半値幅を放電パルス幅として横軸にとり、発光量との関係を示している。すなわち、本研究において、短パルスほど Xe 分子線の発光量が増大することを、CCD で確認することができた。

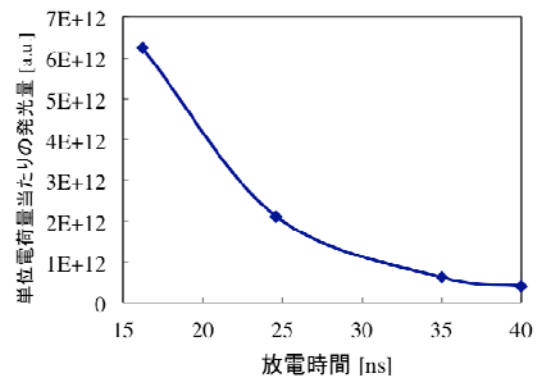


図 7 放電パルス幅と発光量の関係

○短パルスで分子線発光効率が上がる理由としては、放電プラズマ形成の過程の初期の陰極シーが確立する前に、電子のエネルギー分布関数が効率的な原子励起に最も適していることが考えられ、上記の実験結果は

これを支持するものである。これをさらに確認するには、さらに短パルス化して、発光効率を調べると共に、トムソン散乱により電子エネルギー分布関数を調べる必要がある。

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 3 件)

① K. Tomita, N Bolouki, H Shirozono, Y Yamagata, K. Uchino and K Takaki, Two-dimensional Thomson scattering diagnostics of pulsed discharges produced at atmospheric pressure, Journal of Instrumentation, 査読有, Vol. 7, C02057, pp. 1-10, 2012.

② 富田健太郎, Hassaballa Safwat, 内野喜一郎, 高気圧プラズマのトムソン散乱計測とレーザー擾乱の検討, 電気学会論文誌 A, 査読有, Vol.130, No.12, pp.1099-1104, 2010.

③ Y. Sonoda, S. Nishimoto, K. Tomita, S. Hassaballa, Y. Yamagata, K. Uchino, Laser Thomson Scattering Diagnostics of Dielectric Barrier Discharge Plasmas, J. Plasma Fusion Res. Series, Vol. 8, pp. 696-699, 2009.

[学会発表] (計 7 件)

① 三上玄一郎, 蓮井裕也, 田中大, 富田健太郎, 内野喜一郎, 高効率PDPマイクロ放電プラズマの分光計測, 第 64 回電気関係学会九州支部連合大会, 佐賀大, 2011 年 9 月 26 日.

② 内野喜一郎, Two-dimensional Thomson scattering diagnostics of a pulsed discharge produced at around atmospheric pressure, 30th International Conference on Phenomena in Ionized Gases, 2011 年 9 月 1 日, Belfast, United Kingdom.

③ Nima Bolouki, Kentaro Tomita, Yukihiko Yamagata, Kiichiro Uchino, Development of a Laser Thomson Scattering Diagnostics System for Dielectric Barrier Discharge Plasmas, 63rd gaseous electronic conference and 7th international conference on reactive plasmas, Paris, France, 2010 年 10 月 8 日.

④ 内野喜一郎, Thomson Scattering Diagnostics of Dielectric Barrier Discharges, Future PDP Forum 2010, 2010 年 8 月 21 日, 大連理工大学, 中国.

⑤ 内野喜一郎, Thomson Scattering Diagnostics of PDP plasmas, Korea-Japan PDP Forum, 2010 年 2 月 20 日, Jeju Oriental Hotel, Jejudo, Korea.

⑥ 中村 太介, 三上 玄一郎, 富田 健太郎, 内野 喜一郎, 赤外レーザートムソン散乱計測を用いた PDP マイクロ放電プラズマの研究, プラズマ・核融合学会九州・沖縄・山口支部 第 13 回支部大会, 2009 年 11 月 22 日.

⑦ Kentaro Tomita, Yukihiko Yamagata, Kiichiro Uchino, ,Development of a Laser Thomson

Scattering System for Pulsed Filament Discharges Produced in Near-Atmospheric Pressure, 31st International Symposium on Dry Process, 2009 年 9 月 24 日.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

内野 喜一郎 (UCHINO KIICHIRO)
九州大学・総合理工学研究院・教授
研究者番号: 1 0 1 6 0 2 8 5

(3) 連携研究者

富田健太郎 (TOMITA KENTARO)
九州大学・総合理工学研究院・助教
研究者番号: 7 0 4 5 2 7 2 9