

研究種目：基盤研究（C）  
 研究期間：2007～2008  
 課題番号：19560298  
 研究課題名（和文） 沿面放電を利用した面発光デバイスの高発光輝度および高効率化  
 研究課題名（英文） High brightness and high efficiency of planar emitting device utilizing surface discharge  
 研究代表者  
 上野 秀樹（UENO HIDEKI）  
 兵庫県立大学・大学院工学研究科・准教授  
 研究者番号：90301431

研究成果の概要：本研究では、現在プラズマディスプレイ(PDP)に利用されているバリア放電とは異なる放電である沿面放電を制御し、従来の液晶、ELやPDPとは異なる新規な表示・発光デバイスを目指している。沿面放電の制御と均一・高輝度な面発光を実現する基礎として、沿面放電特性と発光メカニズムの解明を行い、表示・発光デバイスとして重要な効果であるペニング効果が沿面放電においても発現している可能性があることを見出した。また、放電空間の制限により、より均一で高輝度な面発光が可能であることを示した。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2008年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,100,000	630,000	2,730,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電力工学・電力変換・電気機器

キーワード：電気機器・電気有効利用・照明・沿面放電，面発光，希ガス，ディスプレイ

## 1. 研究開始当初の背景

電極間に異種固体誘電体が介在した放電形態には、バリア放電と沿面放電の二つのものが知られている。バリア放電は、電極間の固体誘電体層に仕切られた空間で発生するパルス状の放電であり、古くからオゾナイザや NO<sub>x</sub> 等の環境汚染物質の除去装置に利用されている。特に、プラズマディスプレイへの応用は、バリア放電の利用技術の進展の代表例である。一方、後者の沿面放電は、電極間に存在する異種誘電体の界面（例えばガス／固体、油／固体）に沿って発生・進展する

放電である。従来、この種の放電は、高電圧機器、碍子などの電力機器・設備において、絶縁破壊を引き起こす原因であることから、沿面放電に関する研究は、如何に沿面放電の発生を防ぐか、発生した沿面放電の進展を抑制するかに、主眼が置かれてきた。そのため、沿面放電における新たな物理現象の発見やその応用に関する積極的な研究は、最近まで進んでいなかった。沿面放電の工業的応用は、バリア放電に比べて遅れている。沿面放電における物理現象の解明と応用を促進するためには、これまでとは別の観点から沿面放電

に関する研究を行うことが不可欠である。

沿面放電は一方の電極の発生点から、細い放電路を形成し、進展する。すなわち、沿面放電により発生する荷電粒子密度は、その放電路中では高いが、放電路以外では低い。したがって、放電路の荷電粒子とそのエネルギーによる放電化学反応や再結合や脱励起による発光の効率は高いが、誘電体界面全体でみた場合、その効率は必ずしも高くない。電極間の誘電体界面全体に均一な面状沿面放電を発生させることができれば、それを用いた反応や発光の効率は大幅に向上させることが可能と考えられる。

本研究の課題である「発生する沿面放電の形態自体を制御し、利用しようとする試み」は、ほとんど例をみない。沿面放電を制御し、均一・高輝度の面状発光が実現できれば、新規な発光デバイスも可能と考えられる。

## 2. 研究の目的

我々は各種パラメータをコントロールすることにより、線状沿面放電（1次元）、面状沿面放電（2次元）および面状沿面放電に加え空間に拡がる放電の共存する放電（3次元）が実現できることを示した。そして、得られた面状沿面放電による可視発光を利用して、発光デバイスの試作を行い、面状沿面放電を利用した発光デバイスが原理的に可能であることを実証した。しかし、目視できるレベルの輝度を有した面発光が得られたものの、その輝度は未だ低く面発光デバイスとして実用レベルには至っていない。本研究では、沿面放電の制御技術の確立と高輝度面状発光の実現を目指す。沿面放電の発生時においては、広い波長域の発光が放射されているが、これまで行ってきた面発光の研究においては、主として可視域の発光に焦点を当ててきた。本課題は、この可視発光に加えて、沿面放電から放射される紫外域の光にも注目し、紫外から可視までの広い波長域の光の利用や沿面放電空間の制限による封じ込め、紫外光増強がにより、実用可能なレベルの輝度を実現するための基礎的知見の取得、技術の検討について取り組むことを目的としていた。

## 3. 研究の方法

(1) 我々はこれまでに、固体誘電体上に逆極性の残留電荷により沿面放電が進展しやすいと考えられる交流電圧を用いることにより、フレキシブルフラットケーブルによるストライプ状背後電極を有する平行電極構成において、固体誘電体沿面に比較的大きく拡がった放電発光が観測されることを見出した。これを発光デバイスに利用することを目的として、交流電圧印加時の沿面放電の進展やその放電発光に関する検討を行い、各種パラメータを検討し、線状の沿面放電発光、面

状の沿面放電発光、面状沿面放電とそれに隣接するガス空間での放電発光を発生させるに至っている。さらに、面状沿面放電を利用した発光デバイスが原理的に可能であることを実証している。しかし、その輝度は未だ低く面発光デバイスとして実用レベルには至っていない。本研究では、得られた沿面放電の進展・発光が均一でないこと、面状沿面放電発光の輝度が低いことなどの問題について検討する。

沿面放電の発生時においては、広い波長域の発光が放射されているが、これまで行ってきた面発光の研究においては、Neガス中の面状沿面放電において、エネルギー準位の3Pから3Sへの遷移による580nm~730nmの波長の赤色発光が得られ、この可視発光のスペクトル強度は沿面放電によって流れる放電電流に関係していることを明らかにした。また、定量的評価は行っていないが、沿面放電では紫外光も同時に放射されている。すなわち、本課題は紫外から可視までの広い波長域の光を効率的に発生させ、面発光デバイスとして実用可能なレベルの高輝度を実現するための基礎検討を行う。

放電電流の大きさや紫外光の強さは、いずれもガスの電離過程のみならず、その電離気体と固体誘電体との相互作用（固体誘電体表面における電荷のトラップや電荷蓄積、光学的特性等）が関係している。したがって、電離気体と固体誘電体との相互作用の実体の解明を図り、面状沿面放電の発生・進展メカニズムおよび放電発光メカニズムを正確に把握することが必要である。そこで、NeガスおよびNeを含むガス誘電体を用い、電気的計測および光学的計測の検討結果を総合して、実験的に固体誘電体沿面における荷電粒子の振る舞い、固体誘電体との相互作用の実像に迫ることによって、面状沿面放電の発生・進展メカニズムおよび放電発光メカニズムの解明を図り、均一でより強い可視および紫外発光を得て、輝度の高い面状沿面放電発光デバイスの礎とする。

(2) 面状沿面放電デバイスとしての高輝度を実現するための具体的な方策について検討を行う。具体的な手法としては、「沿面放電における放電空間の制限による光封じ込め効果と紫外光増強による高輝度化」について検討を行う。この放電空間の制限による封じ込め効果と紫外光増強については、沿面放電の発生・進展が生じる放電空間を数10 $\mu\text{m}$ ~数 $\mu\text{m}$ までに制限された沿面放電において、沿面放電による紫外線が制限された空間に封じ込められ、空間を制限する固体誘電体との相互作用によって沿面放電の進展が助長される可能性が指摘されている。本研究で対

象としている面状沿面放電に対して、このような沿面放電空間の制限による封じ込めと紫外光増強効果発現の可能性について検討を行う。放電を利用したデバイスにおいて、このような沿面放電空間の制限による封じ込め、紫外光増強の試みは例を見ない。

#### 4. 研究成果

##### (1) Ne/Xe 混合ガス中沿面放電とペニング効果

沿面放電 Ne/Xe 混合ガス中における沿面放電特性についてストライプ状背後電極による図 1 の電極系を用いて検討を行った。

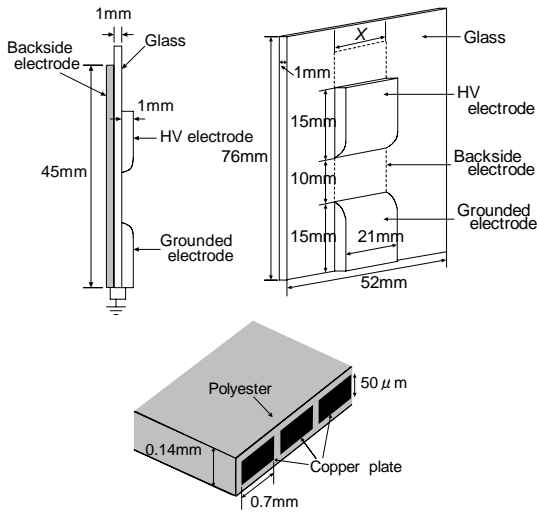


図 1 実験に用いた電極系の概略

図 2 に放電開始電圧の Ne への Xe 混合率依存性を示した。Xe 混合率  $D=2\%$  前後において放電開始電圧  $V_i$  にわずかな低下が認められた。Ne の準安定電励起電圧は約 16.7eV で Xe の電離電圧は 12.1eV であるのでペニング効果の条件を満たしているおり、ペニング効果に関与したものと考えられる。約  $D=2\%$  程度で放電開始電圧が低下する原因と考えられるペニング効果による 2 段階の過程を示す。

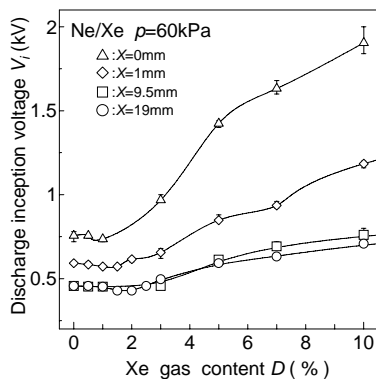
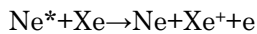
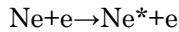


図 2 放電開始電圧の Xe 混合率依存性

この 2 段階の過程で Xe を比較的低いエネルギーで電離させることができる。Ne\* はイオンと同じ重さなので電子より Xe との衝突回数が多く、これにより Xe を電離する確率は 1 に近づく。これらのことから Xe 混合率  $D=2\%$  前後における放電開始電圧の低下はペニング効果に起因したものと考えられる。

従来、Ne/Xe 混合ガス中の沿面放電に関する研究は少ない。通常の Ne/Xe 混合ガスの気体放電におけるペニング効果は、Xe の混合率が 0.1% 程度の極めて低混合率で生じるのに対して、今回の沿面放電では約 2% とより高い濃度で生じていると見られる。しかし、沿面放電による高輝度・高効率な面発光デバイスの実現に重要なペニング効果と見られる現象が見出されたことに意義は大きい。

##### (2) 発光スペクトルと放電電流

図 3 に Ne および Xe を 5% 混合した場合の近紫外から近赤外までの発光スペクトルを示した。

Ne 中における発光スペクトルにおいては、エネルギー準位の 3P から 3S への遷移で発生する波長 580~730nm 付近の数多くの発光ピークが確認された。一方、Xe を 5% 混合したガス中の発光スペクトルにおいては、上記の Ne に関連する発光ピークはほとんど消失していることが明らかとなった。また Xe における放射遷移としては 1S から基底準位の過程で 147nm や 129.6nm の真空紫外線が放射されるが、今回用いた分光器の特性上検出することはできなかった。しかし、Xe から放射される 2P から 1S の遷移に伴う 820nm 帯近赤外線発光は強く観測された。

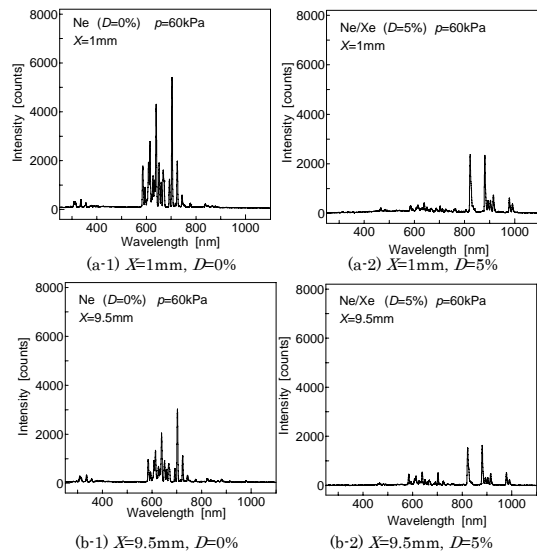


図 3 発光スペクトルの変化

これらことから、Ne/Xe 混合ガスを用いた表示・発光素子に重要な紫外域の発光も放射されているものと推察される。Xe の低混合率においてペニング効果が生じていることが

示唆される。さらに、Xe の混合により 400 ~ 700nm の可視域全体にブロードな発光が現れ、紫外発光と可視発光の利用した高輝度化の可能性が示唆された。

通常、発光は荷電粒子の再結合、励起原子・分子の脱励起のエネルギー放出の一環として生じる。したがって、発光強度は荷電粒子、励起原子・分子数に関係していると考えられる。沿面放電が生じた瞬間に放電電流が流れるが、その放電電流ピークと混合率の関係を図 4 に示した。Xe の混合率の上昇とともにピーク放電電流は直線的に増大していることがわかる。各種 Xe 混合率に対する発光スペクトルの計測を行った結果、Xe に関連した近赤外発光および可視発光は、Xe の混合率の上昇とともに強くなる結果が得られ、紫外発光についても同様と考えられる。このことから発光強度は放電電流と関係していることがわかる。

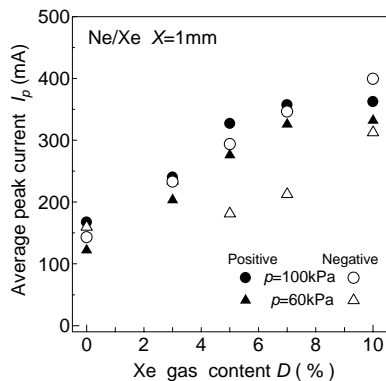


図 4 ピーク放電電流と混合率の関係

発光強度と放電電流との関係より、今回の Ne/Xe 混合ガス中沿面放電の発光は、放電によって生じた電子、イオンなどの荷電粒子の再結合によるエネルギー放射が主たる発光過程と推察できる。

さらに、背後電極幅を小さくすることで発光強度が増大する結果が得られた。これは誘電体を隔てて導体端部上の高圧電極先端付近が高電界になるために背後電極が配置した範囲で放電が発生する確率が高くなっており、背後電極幅を小さくすると背後電極幅内の導体数が少なくなり、放電の発生する高確率な領域が限定されるということになる。そのために陰極点の移動は制限され、同一箇所での放電が多くなる。したがって、デバイスの小型化によりより高輝度の発光が可能となるものと予想される。

### (3) 沿面放電に及ぼす放電空間の効果

高輝度を実現するための具体的方策のひとつとして、「沿面放電における放電空間の制限による光封じ込め効果と紫外光増強による高輝度化」について検討を行う上で、まず放電空間が制限された場合の沿面放電特性を把握する必要がある。そこで、沿面放電

が進展する誘電体上に別の誘電体板を配置し、2枚の誘電体で制限された放電空間での沿面放電の特性について検討を進めた。誘電体の間隔  $t$  を  $t=1.0, 0.5, 0.3\text{mm}$  (1000 $\mu\text{m}$ , 500 $\mu\text{m}$ , 300 $\mu\text{m}$ ) と変化させて、放電空間をした。このときの放電開始電圧の Xe 混合率依存性を図 5 に示した。放電空間に制限を持たせると放電開始電圧はわずかに低下する傾向があり、また  $t=0.5, 0.3\text{mm}$  の  $D=2\%$  前後では放電開始電圧が放電空間に制限がない場合より顕著な低下が見られるようになった。これは放電空間が狭くなることで放電の発生や進展過程において、新たに配置した誘電体に電子やイオンが衝突した蓄積電荷、それによる電極間の空間電荷による電界緩和や電界増強、ペニング効果が生じやすい条件になったためと考えられる。しかし、放電空間を制限するために厚み 0.5mm, 0.3mm の電極を用いたことによる放電の基点となる電極上の電界集中の状態変化が影響している可能性もあり、今後さらに検討を必要とする。

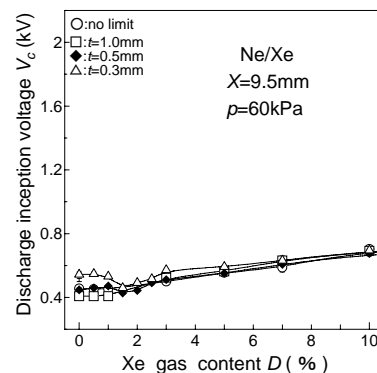


図 5 放電開始電圧の Xe 混合率依存性

次に、放電空間を制限した場合の沿面放電の様子について検討を行った。Xe の混合率 3%、ガス圧 60kPa における沿面放電の様子を図 6 に示した。放電空間に制限の無い場合や  $t=1.0\text{mm}$  の場合には、側面からの観測から沿面放電は完全には誘電体に沿わず空間を進展していることがわかる。しかし、 $t=0.5, 0.3\text{mm}$  とさらに空間を制限した場合、ほぼ完全に誘電体に沿った沿面放電となっている。さらに注目すべき点は、放電空間に制限の無

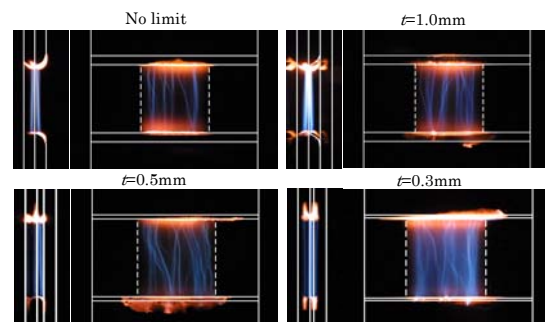


図 6 放電空間を制限したときの沿面放電の様子

い場合や  $t=1.0\text{mm}$  の場合では、その沿面放電においては細い放電路となっておりストリーマライクな放電であるが、 $t=0.5\text{mm}$  では放電路が大きくなり、さらに  $t=0.3\text{mm}$  では細いほう電路は少なくなり、グローライクな放電発酵が観測され、他の条件に比べてより面状の発光でありかつより輝度の高い状態となった。このことから、放電空間を制限することで、より均一で高輝度の面状発光を実現できる可能性があることを示唆された。

現時点では、 $t=0.3\text{mm}$  までしか検討できていないが、放電発光による紫外線封じ込めと発光増強や蛍光体励起による発光を利用した表示・発光デバイスを考えて場合、数 $\mu\text{m}$ ～ $100\mu\text{m}$  まで放電空間を制限した条件での検討が必要であり、今後の課題である。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

- ① Hideki Ueno, Jun Takegawa, Takaaki Tohara, Hiroshi Nakayama, Surface discharge and light emission characteristics on a dielectric plate with a backing-strip electrode in Ne and Ne/Xe, Proceedings of 17<sup>th</sup> International Conference on Gas Discharge and Their Applications, pp.253-256, 2008, 査読有
- ② 竹川純, 上野秀樹, 中山博史, Ne/Xe 混合ガス中における沿面放電と発光特性, 兵庫県立大学大学院工学研究科報告, No.61, pp.7-12, 2008, 査読無

〔学会発表〕(計6件)

- ① 上野秀樹, 中山博史, ストライプ状背後電極による交流放電沿面, 平成19年電気関係学会関西支部連合大会, No.S3-2, 平成19年11月17日, 神戸大学
- ② 竹川純, 桑田健司, 中村正樹, 上野秀樹, 中山博史, Ne/Xe 混合ガス中における背後電極を有した平行電極間の沿面放電特性, 平成19年電気関係学会関西支部連合大会, No.G1-031, 平成19年11月18日, 神戸大学
- ③ 竹川純, 桑田健司, 仲井邦幸, 上野秀樹, 中山博史, Ne/Xe 混合ガス中における沿面放電特性, 平成20年電気学会全国大会, No.1-080, 平成20年3月19日, 福岡工業大学
- ④ 竹川純, 林家綸, 上野秀樹, 中山博史, 面発光デバイスへの応用を目指した沿面放電特性, 第244回電気材料技術懇談会, No.244-2, 平成20年7月17日, 中央電気倶楽部

- ⑤ 竹川純, 桑田健司, 林家綸, 上野秀樹, 中山博史, Ne/Xe混合ガス中で発生する沿面放電の発光特性, 平成20年電気関係学会関西支部連合大会, No.P-4, 平成20年11月8日, 京都工芸繊維大学
- ⑥ 林家綸, 竹川純, 上野秀樹, 中山博史, 希ガスを用いた混合ガス中で発生する沿面放電特性, 平成21年電気学会全国大会, No.1-052, 平成21年3月19日, 北海道大学

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

上野 秀樹 (UENO HIDEKI)  
兵庫県立大学・大学院工学研究科・准教授  
研究者番号: 90301431

##### (2) 研究分担者

中山 博史 (NAKAYAMA HIROSHI)  
兵庫県立大学・大学院工学研究科・教授  
研究者番号: 00047614