

## 1 プラズマチューブアレイを用いたフレキシブル紫外光源の研究開発

石原嗣生, 泉 宏和

### 1 目 的

紫外光源に用いられている水銀ランプの応用分野は、照明、光化学重合、殺菌、リソグラフィなど多岐にわたるが、有毒物質である水銀を多量に含んでいるため、環境負荷が非常に大きい。欧州の WEEE&RoHS 指令（水銀 1000ppm 以下）などの環境有害物質に対する規制は益々厳しくなり、企業に対してこれらの環境問題をクリアすることが求められている。さらに、近年、地球規模で水銀を削減するための「水銀規制条約」の策定作業が本格化している。この条約は国連の委員会で 2013 年までに成案を得ることが決定されており、水銀ランプを製造する企業はこれに対応する必要がある。

プラズマチューブアレイ (PTA) は、フレキシブルで大面積・高効率な光源として優れた技術であり、曲げられるディスプレイとしての用途のみならず、工業用・医療用・環境用の光源としても有望である。PTA にはキセノン(Xe)とネオン(Ne)の混合ガスが封入されており、この混合比やガス圧力の最適化により、紫外蛍光体に対して最適な励起用真空紫外光を発生させることができる。この真空紫外光を利用して、ガドリニウム(Gd)など希土類元素を含んだ紫外蛍光体を励起することにより、高効率で紫外光を取り出すことが可能となる。

本研究では、真空紫外光の効率的な発生と紫外光を効率的に取り出す PTA 技術、蛍光体材料の技術を融合させて、フレキシブルで大面積・高効率な紫外光源の開発を目的とした。

### 2 研究開発の概要

#### 2.1 プラズマチューブアレイ (PTA) 技術の活用

100 型を超える超大画面の軽量・フィルム型ディスプレイを目指して PTA と呼ばれる新しいデバイスが開発されており、現在 200 型クラスの超大画面製品が実用化されている<sup>1)</sup>。

PTA は、直視型で高いピーク輝度が得られる交流 (AC) 型 PDP (プラズマディスプレイパネル) の発光構造を応用しているが、PDP とは全く異なる「チューブ+フィルム」という基本構造である。図 1 に PTA の基本構造、および図 2 にチューブ断面を示す。PTA では、直径 1mm 程度の細長い中空ガラス管内部に放電保護膜、蛍光体層、放電ガスから成る PDP と同様の発光構造を作り込む。このガラス管を「プラズマチューブ」と呼んでおり、これを RGB 順に多数並べて、その背面

と前面に電極形成したフィルムを貼り合わせて画面を形成する。断面から見ると、ガラス管壁で覆われた放電ガス空間に電極から絶縁ガラス層を介して電界印加する AC 放電のセル構造であることが分かる。

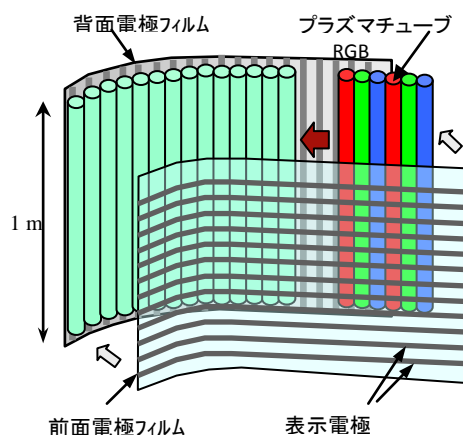


図 1 PTA の基本構造

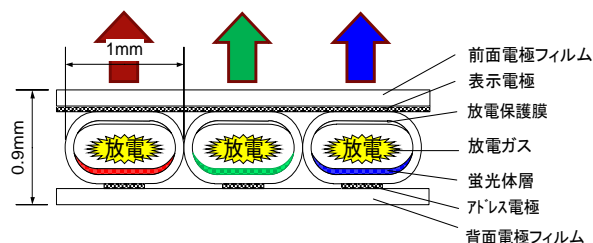


図 2 PTA のチューブ断面図

放電空間はプラズマチューブ長手方向に連続しているが、2本1組の表示電極ペアが接触した部分のみガラスチューブ内に AC 電界がかかり、放電が起こり一画素 (サブピクセル) となる。表示電極ペア2本とアドレス電極合わせて3電極で1画素の放電・発光を制御する AC 型 PDP と同様「三電極面放電式」を採用しているため、駆動法・駆動回路部品は PDP 向けのものを利用する事ができる。

PTA は、発光部 (ガラス管) と駆動電極 (フィルム) を分離することで、超大画面で有利な軽量・フレキシブルで曲面可能な新規デバイスとなっている。また、PTA は、蛍光体を用いているため、様々な発光波長に対応することが可能である。励起用の真空紫外光も水銀を用いない希ガス放電によるものであり、有害物質を含

まない紫外蛍光体を用いることにより、水銀フリーでフレキシブルな紫外光源としての応用が可能である。特に、紫外 PTA 光源では、画素の概念が不要であるため、電極構造を単純化することが可能となる。

本研究では、長期使用での紫外線による劣化が懸念される電極フィルム（樹脂フィルム）と接着層に対する紫外線照射量の低減を満たす構造として、図 3 および図 4 に示すように放電・発光電力を供給するための電極を背面側に配置し、ガラス管壁と紫外蛍光体層を通して放電ガスに電界を印加する方式を採用した。この配置により蛍光体層は電極フィルム側とは反対側の表面層のみが真空紫外光により励起され紫外発光するため、紫外光の電極側への照射量を抑制することができる。

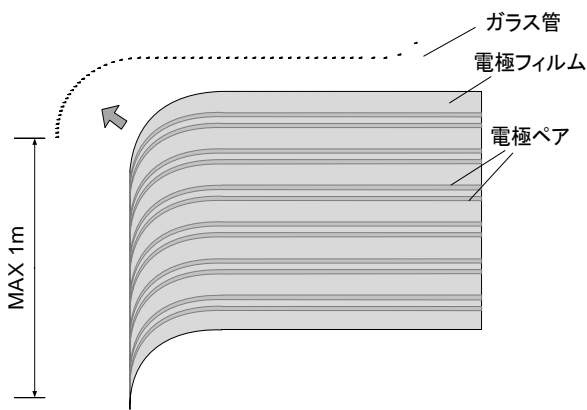


図 3 紫外光源用 PTA の構成図

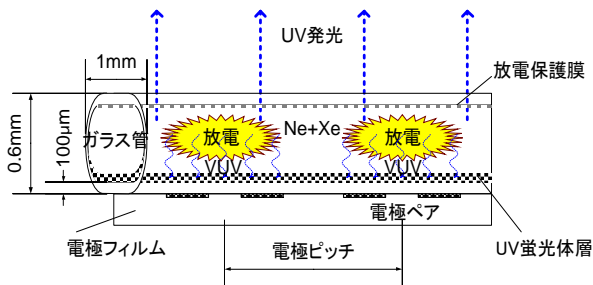


図 4 紫外 PTA の放電と発光の概念図

## 2.2 Gd<sup>3+</sup>の 4f 電子遷移によるナローバンド紫外発光

最近、GaN など窒化物半導体を使用した紫外 LED が注目され、盛んに研究されている。LED は、発光波長をある程度自在に制御でき、量子井戸構造を導入することによって強い発光を得ることができる。現在では、水銀ランプの i 線に発光波長を調整した発光波長 365nm、光出力 250mW に達する紫外 LED がすでに市販されている。しかし、紫外 LED は、発光スペクトル幅が、微弱電流注入下でも約 10nm であり、高電流注入下ではさらにスペクトルに拡がりを生じる。このようなブロードな紫外光は、殺菌、架橋、塗料の乾燥などには有効であるが、狭いスペクトル幅、いわゆるナローバンド紫外光が必要な露光や特定の波長を利用する皮膚治療等の医療

応用には不向きである。

本研究では、ナローバンド紫外光を実現するために、希土類イオンの内殻 4f 電子遷移発光を利用することを検討した。希土類イオンは、4f 電子が充填した外殻による電磁波シールド効果によって、外部場の影響を受けにくく、ナローバンド発光が特徴である。希土類イオンの中でも、Gd<sup>3+</sup>は、図 5 に示すように基底準位と励起準位とのエネルギー差が大きいいため、最低励起準位 <sup>6</sup>P<sub>7/2</sub> から基底準位 <sup>8</sup>S<sub>7/2</sub> への遷移による紫外発光のみを示す。我々は、この波長約 311nm のナローバンド紫外発光に着目し、Gd<sup>3+</sup>を含有する紫外蛍光体の開発を行った。

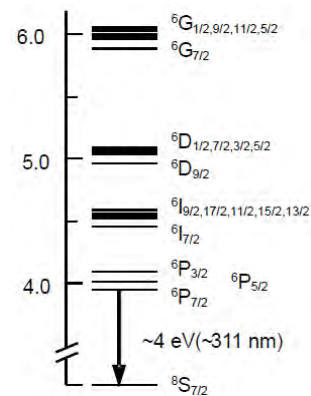


図 5 Gd<sup>3+</sup>のエネルギー準位図

PTA では、PDP と同様に Xe ガス放電による共鳴線（波長 147nm）と分子線（波長 172nm）を励起光源としている。そのため、これらの励起波長に対応する母体材料ならびに添加した元素による吸収帯の形成を検討した。図 6 に開発した高効率紫外蛍光体を用いた PTA の発光スペクトルを示す。305nm から 325nm にかけての UVB（紫外線 B）発光は、Gd<sup>3+</sup>によるものであり、半値幅は約 1nm のナローバンド発光である。また、放電ガスの Ne による発光が 585nm および 703nm にみられる。

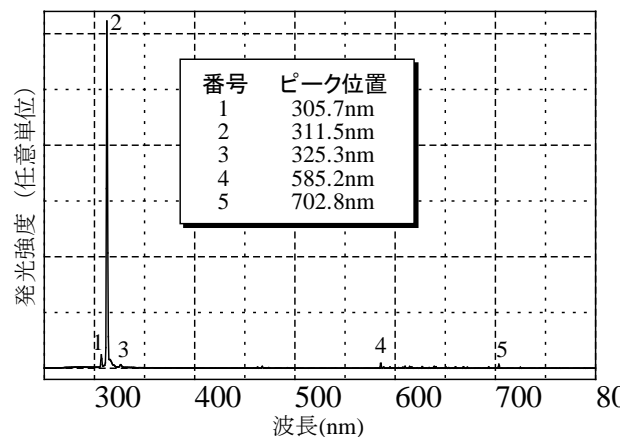


図 6 紫外 PTA の発光スペクトル

### 2.3 紫外面光源の試作

図7にチューブ230本アレイにより試作した紫外面光源の外観を、また、表1に主な仕様を示す。光源部は、樹脂フィルムの電極シートを用い、厚さも0.7mmと非常に薄いため、フレキシブルで容易に曲げることができる。さらに、光源部は、重量が100g程度であるので持ち運びに便利である。図7の右の写真は、ACパルス電圧を印加して発光させた状態であり、放電ガスのNeから発生するピンク色の光が目視できるため、紫外線発光エリアを同定することが可能である。



図7 試作した230本アレイ紫外PTA面光源の外観

表1 試作した紫外PTA面光源の仕様

基板素材	厚さ	重量	光源面積	波長
樹脂フィルム	0.7mm	~100g	230×360mm	311nm

図8に、試作した紫外PTA光源の出力特性を示す。パルス周波数15.6kHzのAC電界を印加した場合の駆動電圧と紫外線強度との関係を示す。

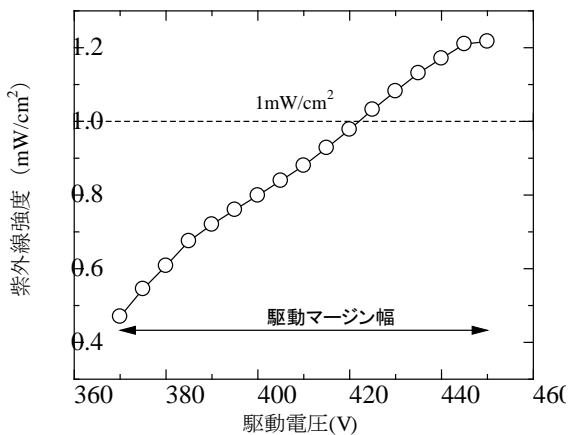


図8 試作した紫外PTA面光源の出力特性

図8で、最初に放電する時の放電開始電圧(450V)と、放電開始から徐々に電圧を下げていった時に放電を維持できる最低の電圧(370V)との間を駆動電圧マージンと呼ぶ。駆動電圧マージンは、安定な動作のために必要であり、広いことが望まれる。駆動電圧420V以上

で、紫外線強度が1mW/cm<sup>2</sup>以上となった<sup>2)</sup>。

### 2.4 PTA技術を用いたUVB治療器の試作

アトピー性皮膚炎は、波長310nm、強度数mW/cm<sup>2</sup>のナローバンドUVBを照射することにより、炎症が抑制されることがわかっている。さらに、尋常性乾癬や尋常性白斑などの皮膚病の治療に対しても有効である。図9に示すように、PTA技術を用いた大面積・曲面型ナローバンドUVB治療器を試作し、Green Device 2010展示会に出展した。幅500mm、長さ1000mmの曲面型であり、全身に照射できる大きさのものが得られている。

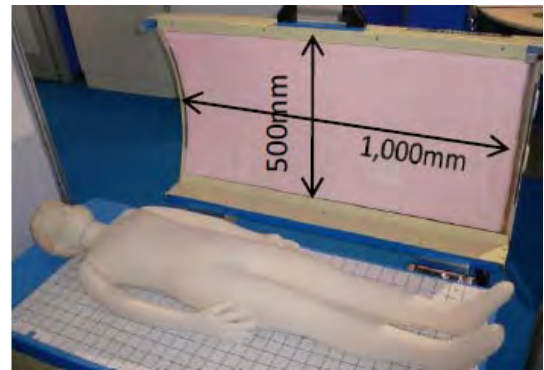


図9 大面積・曲面型紫外PTAの試作品

表2 試作した大面積・曲面型紫外PTAの仕様

基板素材	厚さ	曲率	重量	光源面積	波長
樹脂フィルム	0.7mm	R=500mm	~600g	500×990mm	311nm

## 3 結論

従来から紫外蛍光管を多数並べた紫外面光源が製品化されているが、単一デバイスによる紫外面光源は世界初であり、光源面積として最大級のものとなる。大面積・曲面型の紫外面光源を試作し、医療分野などの曲面・面照射を必要とする応用分野に対して本方式の有効性を示すことができた。

### 参考文献

- 1) 栗本健司, 月刊ディスプレイ 2011年1月, p.1753.
- 2) 喜多 隆, 郭 濱剛, 栗本健司, 篠田 傳, 千木慶隆, 西本哲朗, 田中寛之, 小林幹弘, 石原嗣生, 泉 宏和, 第71回応用物理学会学術講演会, 15p-NB-5, (2010).

### 謝辞

本研究は、(株)ユメックス、篠田プラズマ(株)、大電(株)、神戸大学との共同研究により実施しました。関係各位に深く感謝します。

(文責 石原嗣生)  
(校閲 柏井茂雄)