

# 高照度 Xe<sub>2</sub>\* エキシマランプ「ELXN\*F シリーズ」 の開発

## Development of “ELXN\*F” Series High Intensity Xe<sub>2</sub>\* Excimer Lamp

片 桐 毅\* 畑 瀬 和 也\* 麻 田 隆 志\*

Tsuyoshi Katagiri Kazuya Hatase Takashi Asada

### Abstract

The excimer photo cleaner has been developed for surface cleaning of LCD substrates to improve the adhesion between functional thin films. The newly developed excimer lamp “ELXN\*F” series which have a rectangular cross sectional view emits efficiently 172 nm vacuum ultraviolet rays to realize high degree purification on surfaces of substrates with combination of ozone.

*Key words*: Excimer lamp; UV/O<sub>3</sub> process

### 1 はじめに

近年、液晶をはじめとする薄型ディスプレイは、画面の大型化や軽量化とともに、コントラストの向上や、高精細化、高速動作化など視認性や性能が大きく向上している。一方、単位インチ当たりの価格は大幅に下落したことにより、TVのみでなく、PCやナビゲーション、携帯電話、ゲーム機などの表示画面として使用されている。薄型ディスプレイはガラス基板上に何層もの機能性薄膜を積層しており、各々の成膜前にいかに清浄表面を確保するかが、品質を左右する重要な因子となっている。ガラス基板表面上の清浄度を保ち、製品の歩留まり向上をもたらす技術として 254 nm および 185 nm の遠紫外線を発する低圧水銀ランプを使った UV/O<sub>3</sub> プロセスは、重要な役割を担っている。

また UV/O<sub>3</sub> プロセスにおいて、172 nm の遠紫外線を発する新光源として約 20 年前から開発されてきた Xe<sub>2</sub>\* エキシマランプ (Xe<sub>2</sub>\* excimer lamp)<sup>1</sup> は、低圧水銀ランプと比較してより短時間で、より高度な清浄化を低温で実現できる優位性が認められ、現在における洗浄工程では主力になっている。当社では 1996 年からエキシマランプの研究・開発を開始し、2003 年には世界で初めて発光面がフラットなエキシマランプ「ELXA シリーズ」を開発した。これにより、これまで必要とされてきた照射器具に必要な高価な前面ガラスが不要となり、照射システムのコスト低減に大きく貢献した。2008 年にはこの技術を継承しつつ、より出力が大きい「ELXN\*D シリーズ」を開発した。

さらに今回、紫外線の放射照度について、従来の「ELXN\*D シリーズ」に比べて 50% 以上の向上をはかった「ELXN\*F シリーズ」を開発したのでここに報告する。

\* 産業電池電源事業部 ライティング本部 製造部

## 2 光洗浄とエキシマランプについて

### 2.1 UV/O<sub>3</sub> プロセス

液晶ディスプレイ製造において、視認性の向上を目指してパターンの高精細化が進む一方で、コストダウンのために基板の大型化や生産性の向上とともに、歩留まり向上が重要な課題となってきている。歩留まり向上のための最も重要な因子として、ガラス基板表面に滞留する汚れ (contamination や particle) の除去があげられる。

これらの汚れを除去する方法として、WET プロセスと DRY プロセスがある。WET プロセスでは、洗浄液と高度純水を交互に使用してガラス基板表面の汚れを洗い落とししていく。しかし、WET プロセスでは、ガラス基板表面の数分子層の汚れを完全に落とすことができない。ガラス基板表面付近では、化学的な結合が関与しており汚れが強く付着しているためである。

一方、DRY プロセスは、ガラス基板表面に強く結び付けられた有機物を除去する方法として用いられる。光やラジカルなどのもつ高いエネルギーを利用して、ガラス基板表面と有機物の化学結合を切断し、汚れを分解除去することでガラス基板表面を清浄化する方法である。そのひとつとして、インラインで連続処理が可能で、生産性の高い UV/O<sub>3</sub> 処理が最も多く使用されており、その光源として、近年はエキシマランプが導入されている。Fig. 1 にエキシマランプを搭載したエキシマ光洗浄装置の一例を示す。

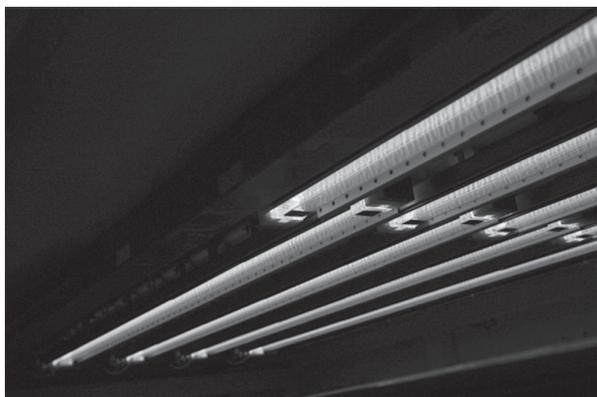


Fig. 1 Example of the excimer photo cleaner.

### 2.2 エキシマランプの発光の原理

波長 172 nm の遠紫外線は Xe 原子の励起二量体 (excited dimer あるいは excimer と呼ばれている) Xe<sub>2</sub>\* から放射される分子発光である。放電プラズマ中における Xe<sub>2</sub>\* の生成・消滅過程の様子をエネルギー準位図で示したのが Fig. 2 である<sup>2-4</sup>。Xe<sub>2</sub>\* が光を放出して下準位に遷移するとき、2つの Xe 原子 (<sup>1</sup>S<sub>0</sub>) に解離するので自己吸収がなく、放射ロスがない。この遷移によって放出される光の波長は 150 nm と 172 nm 付近にピークをもつ連続帯であるが、Xe ガスの数密度増加にともなって 150 nm 付近の連続帯はなくなり、172 nm 付近の連続帯 (半値全幅約 15 nm) が主となる。

### 2.3 エキシマランプの利点

Xe<sub>2</sub>\* エキシマランプでは以下の利点があげられる。

- (1) Xe<sub>2</sub>\* エキシマランプから発せられる遠紫外線 172 nm は、光子のエネルギーが大きく、有機物の化学結合を効率よく切断できる。
- (2) 活性酸素 O(<sup>1</sup>D) の発生効率が高い<sup>5</sup>。
- (3) ランプの温度が低く、ワークに対するダメージが少ない (低温処理)。
- (4) 点灯後すぐに安定した出力が得られるので、待機時間もなく省エネルギーである。

## 3 開発ランプ

### 3.1 背景

液晶ディスプレイの製造コスト低減は永遠の課題であり、特に光洗浄は各工程の前処理、後処理において必須プロセスであり重要なファクターである。そのため、省スペース化によるクリーンルームの縮小、消費電力の低減、プロセスガス量の削減はランニングコスト低減に必要不可欠である。このため、より高照度タイプのランプが要求されている。

### 3.2 特長と仕様

開発したエキシマランプ「ELXN\*F シリーズ」の主な特長と仕様を以下に示す。

- (1) 従来品に対して紫外線の放射照度が 50% 以上向上している。
- (2) 従来品と同等の長寿命である。
- (3) 2015 年 10 月時点においてランプの有効発光長は 750 ~ 1500 mm である (Table 1 参照)。

### 3.3 ランプ構成

エキシマランプの外観を Fig. 3 に示す。ランプは発光管、給電用のリード線、発光管とリード線の電気接

点を保護するためのセラミックベースから構成されている。

発光管の断面を Fig. 4 に示す。発光管は石英ガラス

Table 1 Line-up of "ELXN\*F" series.

Type	Effective emission length / mm
ELXN80F2	750
ELXN100F2	950
ELXN115F2	1100
ELXN135F2	1300
ELXN155F2	1500

製で、フラット面をもつ略矩形状に成形してあり、フラット面の外表面には薄膜電極を有している。この薄膜電極に数 kHz の高周波、数 kV の高電圧を印加することで、石英ガラス管内に封入したガスをプラズマ化し、発生した光をメッシュ電極（照射面）側から取り出す構造となっている。プラズマは個々独立したフィラメント状で、数十 nsec. 程度のパルス的なストリーマをとまなう<sup>6-9</sup>。なお、このように電極間に石英ガラスなどの誘電体を挟んで放電させる方式を誘電体バリア放電（別名：オゾナイザ放電）と呼んでいる。

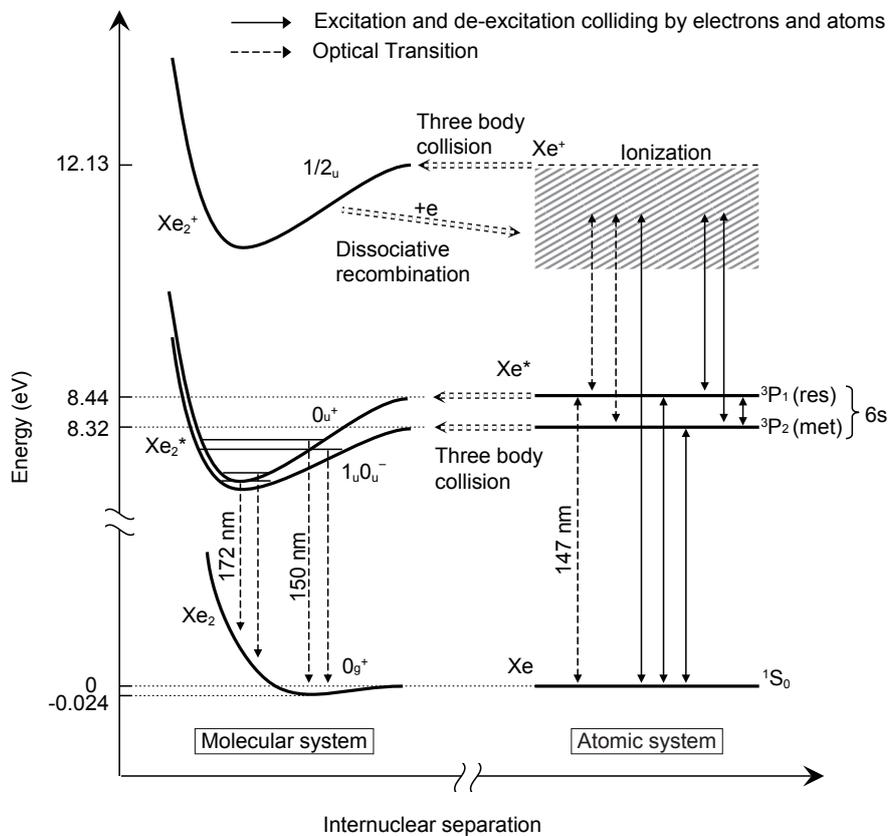


Fig. 2 Energy diagram of Xe atom and Xe<sub>2</sub> molecule.

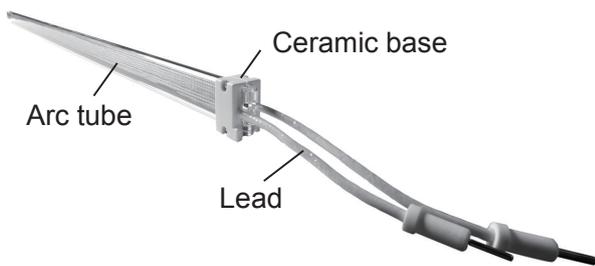


Fig. 3 Xe<sub>2</sub>\* excimer lamp.

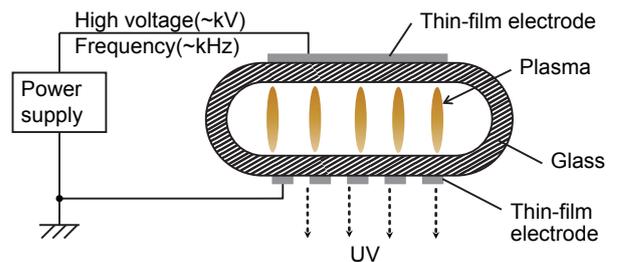


Fig. 4 Cross-sectional view of the arc tube.

「ELXN\*F シリーズ」では石英ガラス管内に反射膜を採用した。また、これにあわせてメッシュ電極パターンを最適化し、効率よく光を取り出せるようにした。これらの工夫により、「ELXN\*F シリーズ」は従来品と同じランプ寸法かつ同程度のランプ電力でありながら、従来品に比べて放射照度が50%以上向上し、ランプ放射面における均斉度も±10%以内を実現している。

なお、UV/O<sub>3</sub>プロセスにおいて、紫外線の放射照度が初期と末期で違いがあるとプロセスの処理条件が変わってしまうため、初期から末期まで放射照度が変わらないことが望ましい。開発品では調光制御システムを採用することで、寿命中の放射照度の変化を小さくしている。

### 3.4 ランプ性能

#### 3.4.1 分光分布

開発品の分光分布を Fig. 5 に示す。172 nm 付近を中心とした分布をもっていることがわかる。

#### 3.4.2 放射照度

開発品と従来品の初期および末期の放射照度の比較を Fig. 6 に示す。放射照度の測定には、遠紫外線 172 nm 専用の UV センサ (ORC 製 UV-M06-H) を使用した。なお、遠紫外線 172 nm は酸素の吸収により、大気中では大きく減衰してしまうため、放射照度はランプ表面における値を示している。また、本測定時は調光機能を OFF にしている。Fig. 6 から開発品は従来品に対して約 60% 高いことがわかる。

#### 3.4.3 均斉度

石英ガラス管内に反射膜を形成することで長手方向両端部の照度が不均一になるため、電極の形状を最適化した。Fig. 7 に開発品の長手方向各位置における放射照度の一例を示す。測定点は、有効発光長内を4つに分割した5点で、3.4.2 で記載した測定方法にて放射照度を評価している。照度の均斉度は±10%以内であり、良好であることがわかる。なお、縦軸は放射照度を規格化した値である。

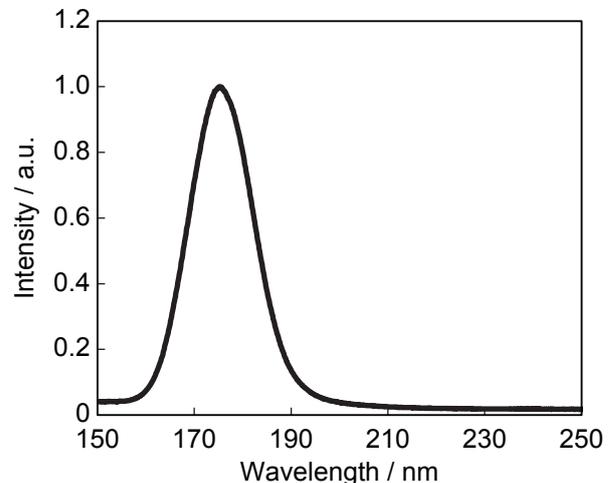


Fig. 5 UV emission profile of the newly developed lamp.

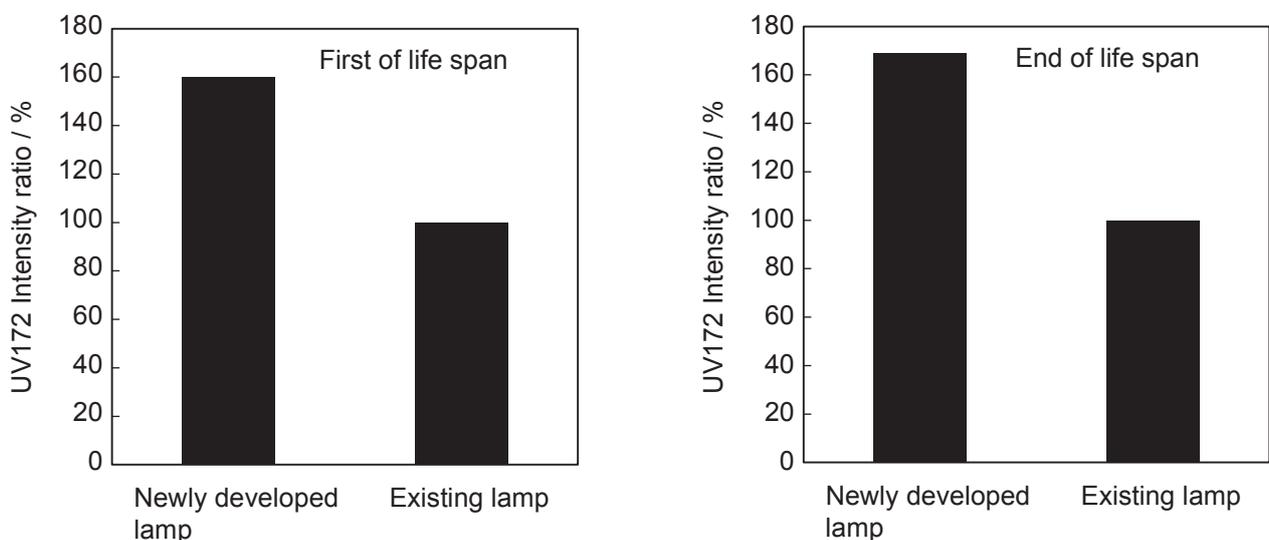


Fig. 6 UV172 intensity ratio of the newly developed lamp and the existing lamp at first and end of life span.

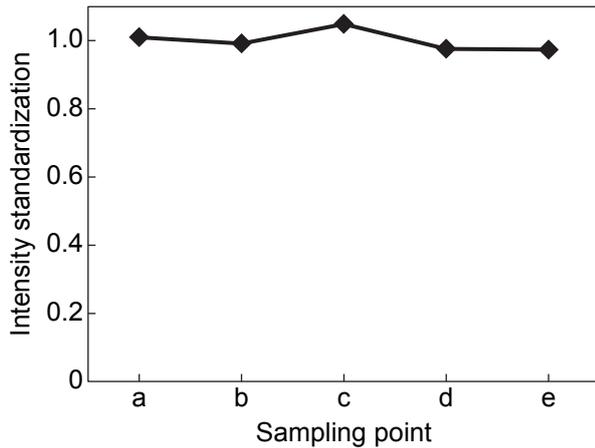


Fig. 7 Uniformity of irradiance for the newly developed lamp "ELXN80F2".

#### 4 まとめ

今回、新たに開発した Xe<sub>2</sub>\* エキシマランプ「ELXN\*F シリーズ」の概要について説明した。開発品は従来品と同等の寸法、ランプ電力でありながら放射照度が50%以上向上している。当開発品を照射システムに組み込むことで、ランプ数量が削減できるなど、更なるランニングコスト低減に貢献できるものと期待している。

#### 文献

1. H. Esrom, J. Demmy, and U. Kogelshatz, *Chemtronics*, **4**, 202 (1989).
2. Walter C. Ermler, Yoon S. Lee, and Kenneth S. Pitzer, *J. Chem. Phys.*, **69**(3), 976(1978).
3. O. Vallee, N. Tran Minh, and J. Chapelle, *J. Chem. Phys.*, **73**(6), 2784(1980).
4. D. Haaks : Kinetik der Xe<sub>2</sub>\*- und Kr<sub>2</sub>\*- Excimere. Habilitationsschrift, University of Wuppertal(1980).
5. K. Watanabe, *J. of Chemical Physics*, **21**, 1026 (1953).
6. Woo Seok Kang, Yong-Ho Kim, and Sang Hee Hong, *IEE Trans. Plasma Sci.*, **30**(1), 166(2002).
7. Woo Seok Kang, Jin Myung Park, Yongho Kim, and Sang Hee Hong, *IEE Trans. Plasma Sci.*, **31**(4), 504(2003).
8. Akinori Oda, Yosuke Sakai, Haruaki Akashi, and Hirotake Sugawara, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, **32**, 2726(1999).
9. Akinori Oda, Hirotake Sugawara, Yosuke Sakai, and Haruaki Akashi *J. Phys. D: Appl. Phys.*, **33**, 1507(2000).