

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 25 年 4 月 15 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2010-2012

課題番号：22246051

研究課題名（和文）新しい高出力深紫外発光素子の開発

研究課題名（英文）Development of new high power deep UV light emitting device

研究代表者

青柳 克信（AOYAGI YOSHINOBU）

立命館大学 立命館グローバル・イノベーション研究機構 特別招聘教授

研究者番号：70087469

研究成果の概要（和文）：

新たに提案したマイクロプラズマ励起深紫外発光素子（MIPE）の原理実証研究を行った。このデバイスは制作コストが安く、フラットパネルタイプで大面積化が容易で、深紫外領域の任意の波長で高出力発光を得ることができる。本研究でその原理実証研究に成功し、2インチの大面積化に成功した。その発光出力は50mWの高出力を得た。また用いたAlGaIn多重量子井戸の設計を変えることにより、229nmから410nmまでの任意の波長で発光できることを実証した。この結果は将来1m×5mのワイドMIPEを作製できることを示しており、その出力は100Wにも及ぶ。またこれを用いて水銀フリーの深紫外光源の水や空気の浄化、難分解性物質の分解、医療への応用等多くの応用可能性が広がった。

研究成果の概要（英文）：

A dynamically-controlled micro-plasma-excited (MIPE) aluminum gallium nitride deep ultraviolet (DUV) light-emitting device is demonstrated. This device provides high-power DUV emission at any desired wavelength, and allows enlargement of emission areas like plasma display panels for easy, low-cost fabrication. Neither p-n junctions nor electrode contacts are required for device fabrication. We fabricated 2-inch diameter wafer-size MIPE emitters of DUV light at specific wavelengths from AlGaIn quantum wells with 50 mW average output power. We can also fabricate 6-inch diameter DUV emitters using sapphire wafers and 1 m×5 m panel-type DUV emitters.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	25,900,000	7,770,000	33,670,000
2011年度	7,500,000	2,250,000	9,750,000
2012年度	4,800,000	1,440,000	6,240,000
総計	38,200,000	11,460,000	49,660,000

研究分野：半導体光デバイス

科研費の分科・細目：電気電子工学・電子デバイス・電子機器

キーワード：深紫外光、マイクロプラズマ、AlGaIn、MIPE、深紫外発光素子、水浄化、医療応用、高出力

1. 研究開始当初の背景

本研究の開始当初は、来たるべき水俣条約の締結に向け新たな水銀フリーの深紫外光源

の開発は急務であった。当時深紫外光源の水銀ランプの代替デバイスとして電流注入型の深紫外発光ダイオードが広く研究されていたが、高出力化が難しい、短波長化が難しい、作製コストが高い、大面積化が難しい等種々の問題点があった。本研究はマイクロプラズマを巧みにもちい、従来とは全く異なった原理を用い水銀ランプ、深紫外 LED に変わる新しい深紫外発光素子 (MIPE と命名) を開発しようとするものである。

2. 研究の目的

マイクロプラズマ励起 AlGaIn 深紫外発光素子 (MIPE DUV LE、通称 MIPE) を新たに提案しその原理実証研究を行う。本方法が成功すればプラズマディスプレイ (PDP) の様に、発光素子のスケーリング則が成立するために、極端には 1 m 角の深紫外発光素子を作成することも可能でありそのときの発光出力は、数ワット以上も容易に可能であると考えられる。この様な大出力深紫外光は従来の LED を用いた深紫外発光素子では実現不可能であり、またスケール則が成り立つため、製作が容易で水の浄化、医療応用、植物プラント応用等、多岐にわたる応用が期待される。本研究はこれらの応用を目指し、提案した新たな素子の原理実証を目的とした。

3. 研究の方法

本研究において発光材として AlGaIn 超格子を用い、MOCVD でそのエピタキシャル成長を行い、そのための結晶成長条件を明らかにすると同時にその発光特性をフォトルミネッセンス (PL) でまず調べた。

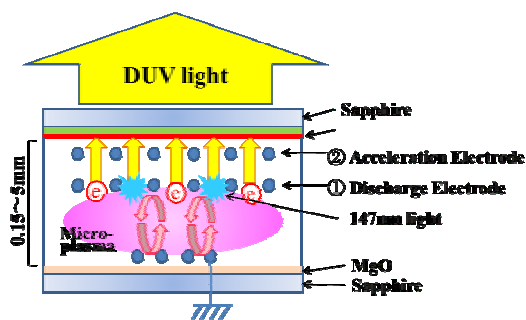


図1. MIPEのセル構造の一例。

図1は典型的なセル構造を示す。セルの大きさは2cm角、あるいは2インチを用い、電極はプラズマ生成電極、プラズマ保持電極、電子引き出し電極で構成した。セルにはMgOを用い、MgOからの2次電子により効率よく安定なプラズマを生成した。発光体であるAlGaIn超格子はPDPの場合と同じようにプラズマからの147nmの光による光と、図2に示

す印加電圧により効率よくプラズマから引き出された電子による光、電子併用励起を用いた。

Frequency: 60Hz ~ 20kHz
 Sample : AlGaIn(quantum well)
 Gas : Ne(80%)+Xe(20%) $5.0 \times 10^2 \sim 9 \times 10^4$ Pa
 Pulses ①: $10 \sim 20 \mu s$ 280 ~ 700v
 ②: $10 \sim 50 \mu s$ 300 ~ 700v

図2. 印加電圧のシーケンス例。

用いたガスはNeとXeの混合ガスである。ガスの圧力は $5.0 \times 10^2 \sim 9 \times 10^4$ Pa、また繰り返しは60~20kHzを用いた。プラズマ放電ガスの種類、圧力、印加電圧を変化させ、種々の条件での素子特性を調べた。

4. 研究成果並びに結論

深紫外の発光条件は用いる試料、用いるガス種、圧力並びに印加電圧で種々に変わることがわかりその高出力を得るためにはその最適化が必要であることがわかった。

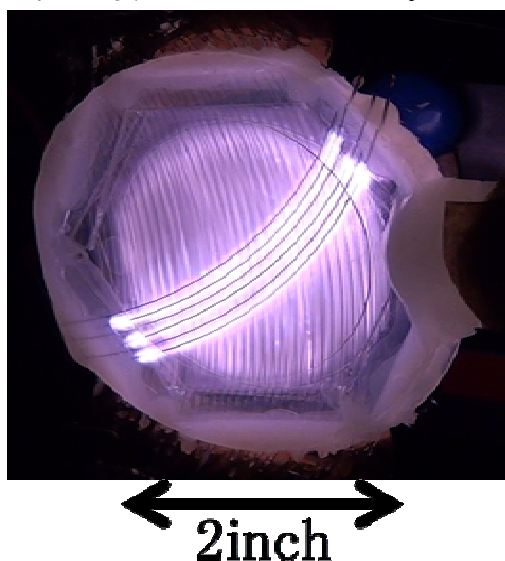


図3. 2インチ MIPEからの発光の例。

図3は2インチ基板を用いたMIPEからの発光写真である。また図4は発光スペクトル並びのその加速電圧依存性である。

図4からも明らかなどおり、MIPEからの発光とAlGaInのPL発光はよく一致しており、発光はAlGaInからの発光であることを示している。また発光強度は印加電圧に強く依存し、加速印加電圧を560Vから600Vに変えることにより約5倍の強度になっていることがわかる。

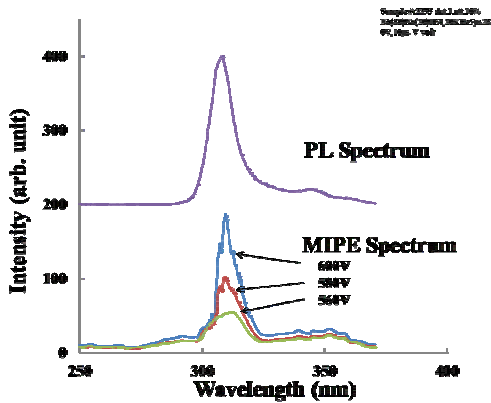


図4 . MIPE 発光スペクトルと用いた AlGaIn 超格子からの PL スペクトル。

波長も上記の 306nm の波長以外にも 229nm, 265nm, 313nm, 410nm の波長が得られており、これは用いた AlGaIn 超格子の設計による。典型的な出力は 2 cm 角のセルで 10 mW の出力が得られた。これは 2 インチの MIPE では約 50mW, 1 m角のディスプレイ相当のパネルを用いれば 25 W の深紫外光を得られることを意味している。

以上の結果よりマイクロプラズマ励起 AlGaIn 深紫外発光素子は実現可能であることが実証でき、その出力も予想以上におおきいことがわかり、今後の大出力化に向けて弾みをつけることができた。

また、MIPE は水銀フリーであるため、来る水俣条約による水銀規制を完全にクリアしており将来の光源として種々の応用が考えられる。たとえば、MIPE がフラットパネルであることより、図5に示すようなワイド MIPE を作製することもできる。

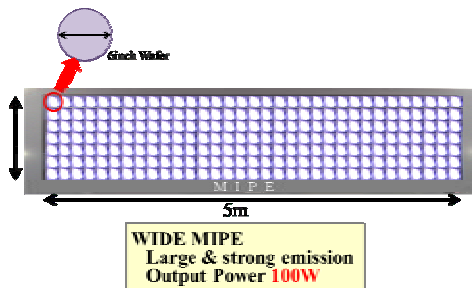


図5 . ワイド MIPE の例。

この場合出力は 100W を超える。このワイド MIPE を使い図6に示すようなポータブルタイプの水浄化装置を構成することも難しくない。



図6 . ワイドMIPEを用いたポータブルタイプ水浄化システムの例。

結論

以上に示すように本研究において、我々の提案した MIPE の原理実証実験に成功した。その結果、MIPE は、用いる AlGaIn 超格子を設計することにより 210nm ~ 400nm の任意の波長で発光し、サイズは基板のサイズまで拡大することができることがわかった。出力は 2 cm 角では 10 mW であった。これから我々の手で実現できた 2 インチ の基板では約 50mW, 1 m x 5 m のフラットパネル MIPE では 100W の出力が期待されることがわかった。

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4件)

1. Y. Aoyagi, N. Kurose: Applied Physics Letters, 査読有, 104, (2013), 041114-1-041114-3.
2. Y. Aoyagi, M. Takeuchi, S. Iwai, H. Hirayama: AIP Advances, 査読有, 2 (2012) 0012177-0012183.
3. Y. Aoyagi, M. Takeuchi, K. Yoshida, M. Kurouchi, Y. Nanishi, H. Sugano, Y. Ahiko, H. Nakamura, Journal of Environmental Protection, 査読有, 137 (2012) 1215-1218.
4. Y. Aoyagi, M. Takeuchi, S. Iwai, H. Hirayama, Appl. Phys. Letters, 査読有, 99 (2011) 112110-1-112110-3.

〔学会発表〕(計8件)

1. N. Kurose, Y. Aoyagi: Large area micro-plasma excited AlGaIn deep ultraviolet light emitter, International Display Workshop, 2012年12月4日, 京都国際会議場 (京都府).

2.Y. Aoyagi, N. Kurose: Development of new deep ultra-violet light emitter using micro-plasma excitation of AlGaIn and its application, International Conference on Nanotechnology and MEMS, 2012年12月1日, 静岡大学 (静岡県).

3.N. Kurose, Y. Aoyagi: Development of large area micro-plasma-excited AlGaIn deep ultraviolet light device (MIPE) for disinfection of water, Water Contamination Emergency Conference 5, 2012年11月19日, Mulheim an der Ruhr (Germany).

4.N. Kurose, Y. Aoyagi: Two inch large area DUV AlGaIn light emitter using micro-plasma excitation, International Workshop on Nitride Semiconductors, 2012年10月16日, 札幌コンベンションセンター (北海道).

5.黒瀬範子、青柳克信: 高出力大面積マイクロプラズマ励起 AlGaIn 深紫外発光素子の開発、第73回応用物理学学会学術講演会、2012年10月11日、愛媛大学(愛媛県)。

6.N. Kurose, Y. Aoyagi : Development of new deep ultra-violet light emitter using micro-plasma excitation of AlGaIn and its application, International Symposium on GaN related compounds, 2012年7月16日, St. Petersburg (Russia).

7.武内道一、林 洋平、荒木 努、名西やすし、青柳克信: AlN ボイド形成法による Si 基板上へのクラックフリー AlGaIn 層成長、第57回応用物理学関係連合講演会、2010年3月29日、早稲田大学(東京都)

8.吉田 薫、黒内正仁、安井宣仁、武内道一、荒木 努、神子直之、名西やすし、青柳克信: 深紫外線 LED を用いた水の消毒、第57回応用物理学関係連合講演会、2010年3月28日、早稲田大学(東京都)。

〔図書〕(計1件)

青柳克信、石橋幸治、高柳英明、中ノ勇人、平山祥郎、コロナ社、基礎からわかるナノデバイス、2011年、p.p.125-p.p.176

〔産業財産権〕

出願状況(計6件)

1. 名称: オゾン濃度測定装置

発明者: 吉田薫、青柳克信、他5名

権利者: 立命館大学、(有)光電鍍工業所

種類: 特許

番号: 特願 2011-231347

出願年月日: 2011年10月21日

国内外の別: 国内

2. 名称: AlN層の製造方法およびAlN層

発明者: 青柳克信、武内道一

権利者: 立命館大学

種類: 特許

番号: 特願 2011-151137

出願年月日: 2011年7月7日

国内外の別: 国内

3. 名称: Crystal growth method and semiconductor device

発明者: 青柳克信、武内道一、他2名

権利者: 立命館大学、シャープ(株)

種類: 特許

番号: 公開 US-2012-0007039-A1

出願年月日: 2011年3月3日

国内外の別: 国外

4. 名称: オゾン濃度測定装置

発明者: 吉田薫、青柳克信、他5名

権利者: 立命館大学、(有)光電鍍工業所、

他1社

種類: 特許

番号: 特願 2011-038925

出願年月日: 2011年2月24日

国内外の別: 国内

5. 名称: 窒化物半導体発光素子および半導体光学装置

発明者: 太田征孝、青柳克信、他2名

権利者: シャープ(株)、立命館大学

種類: 特許

番号: 特願 2011-004714

出願年月日: 2011年1月13日

国内外の別: 国内

6. 名称: 結晶成長方法及び半導体素子

発明者: 青柳克信、武内道一、他2名

権利者: 立命館大学

種類: 特許

番号: 特願 2010-155388

出願年月日: 2010年7月8日

国内外の別: 国内

〔その他〕

新聞発表:

2013年3月13日: 朝日新聞「水銀使わぬ深紫外線発光装置」

マイクロプラズマ励起大面積高出力深紫外発光素子の開発に成功(MIPE):

2013年2月7日: 毎日新聞「深紫外ランプで殺菌」

2013年2月7日: 産経新聞「水銀ランプがきえる?」

2013年2月7日: 京都新聞「水銀使わぬ「深紫外光源」」

2013年2月7日: 中日新聞「紫外線の新光源開発」

2013年2月7日: 日経産業新聞「生ガキ殺菌、低コスト」

テレビ報道:

2013年2月6日: NHK番組「京と一日」18:00~。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

青柳 克信 (AOYAGI YOSHINOBU)
立命館大学・立命館グローバル・イノベーション研究機構・教授
研究者番号：70087469

(2)研究分担者
武内 道一 (TAKEUCHI MISAICHI)
立命館大学・立命館グローバル・イノベーション研究機構・准教授
研究者番号：60284585

黒内 正仁 (KUROUCHI MASAHIITO)
立命館大学・立命館グローバル・イノベーション研究機構・ポスドクトラルフェロー
研究者番号：10452187

(3) 研究協力者
黒瀬 範子 (KUROSE NORIKO)
PI リサーチ 主任研究員
研究者番号：なし