

厳守

発表解禁日時

2009/ 9/ 21

AM 2:00



平成 21 年 9 月 18 日

独立行政法人物質・材料研究機構

## 六方晶窒化ホウ素を用いた遠紫外線面発光素子の試作に成功

— 手のひらサイズの水銀レス高効率遠紫外発光素子 (225 nm) —

独立行政法人物質・材料研究機構（理事長：潮田 資勝）光材料センター（センター長 大橋 直樹）の渡邊 賢司主幹研究員と谷口 尚主席研究員は、双葉電子工業（株）開発研究所と共同で高純度六方晶窒化ホウ素<sup>1)</sup> (h-BN) 粉末を発光層とする手のひらサイズの高輝度遠紫外線面発光素子の開発に成功した。試作された素子本体は 65×35×12 mm のコンパクトサイズで、発光面は 27 mm<sup>2</sup> の面積を有する。出力は最大 0.2 mW（波長 225nm）である。さらに、動作電流が小さい特性を生かして乾電池駆動による携帯型遠紫外光源の試作に成功した。

コンパクトで高効率な遠紫外光領域<sup>2)</sup>の発光素子は、光触媒による環境汚染物質の分解処理法の光源や、病院や食品加工などで用いられる殺菌用水銀ランプの高効率発光素子への置換えなどによる省エネ化、無水銀化など多種多様な応用分野があり、環境対応型の新しい遠紫外光源として期待される。

本試作素子は、手のひらサイズでありながら波長 225 nm の単色光出力をすることを特徴とし、熱線吸収フィルターを必要としない遠紫外(UV-C)小型冷光光源<sup>3)</sup>として広範な応用が可能である。

この研究成果は、9月20日 18:00（ロンドン現地時間、日本時間翌21日 2:00）Nature（ネイチャー）姉妹誌 Nature Photonics（ネイチャーフォトンクス）電子版（AOP）にて先行公開される。

（DOI: 10.1038/NPHOTON.2009.167）。

### 1. 研究の背景

窒化ガリウム (GaN) を用いた青色半導体レーザおよび発光ダイオードの成功により、DVD などの光記録媒体の高密度化や大型ディスプレイ、信号機などの表示デバイスへの応用など、コンパクトで長寿命かつ高効率な半導体光デバイスの特長を生かした応用分野が近年広がりつつある。さらに、半導体発光素子としては未踏の波長領域である遠紫外波長領域（200nm 近辺）で発光する発光素子開発への要求が高まっている。

これまで独立行政法人物質・材料研究機構では、ダイヤモンドや立方晶窒化ホウ素 (cBN) などのワイドギャップ半導体物質の探索により、波長 200nm 近辺におけるデバイス材料研究で世界を先導している。特に本研究グループは、2006 年に世界で初めて六方晶窒化ホウ素 h-BN（参考図、用語解説 1）の高輝度遠紫外発光特性を見出してから、六方晶窒化ホウ素 (h-BN) を発光層とする新しいデバイスの開発を進めてきた。六方晶窒化ホウ素 (h-BN) は古くから知られている無害の物質で化学的に安定であることから耐熱・絶縁材料などに一般的に使われている材料であるが、遠紫外領域での光学特性は結晶試料の不完全性（不純物・欠陥）などの理由により、それまでまったく明らかにされておらず、また研究対象としてほとんど関心を持たれていなかった。

今回、物質・材料研究機構と双葉電子工業（株）開発研究所は、六方晶窒化ホウ素 (h-BN) 発光層と高効率な電界放出型電子源とを組み合わせることにより世界で初めて波長 225nm をピークとするコンパクトな単色遠紫外発光素子の試作に成功した。

## 2. 研究成果の内容

本研究チームは、高温高压法にて育成した六方晶窒化ホウ素 (h-BN) 単結晶粒子を発光層に用い、加速電子線源で励起する小型遠紫外発光素子<sup>4)</sup>を試作し、その特性を評価した。図3に示されるように遠紫外光領域で透明なガラス基板上にアノードとしてアルミ電極を施した上に、高温高压法によりバリウム溶媒を用いて育成した粒子径、数十 $\mu\text{m}$ 程度の六方晶窒化ホウ素 (h-BN) 単結晶粒子を均一に付着させ発光層とした。電子線源として Spindt タイプの電界放出型アレイを用い、電子入射面の大きさを  $1.7 \times 0.16 \text{ cm}^2$  とし、アノード電流 約  $35 \mu\text{A}$ 、電流密度  $0.1 \text{ mA/cm}^2$  近辺で連続動作させた。出力スペクトルは、 $225 \text{ nm}$  近辺の励起子由来のメインピークとそれに連なる不純物欠陥起因の弱い裾からなる (図4)。アノード電圧  $8 \text{ kV}$  において出力  $0.2 \text{ mW}$ 、素子直上での出力光密度  $0.7 \text{ mW/cm}^2$  を得た。本素子の出力スペクトルは六方晶窒化ホウ素 (h-BN) からの発光によるものであり、不純物欠陥起因の弱い裾以外には熱となる赤外線などの光は出力されないのが特徴である。電子放出素子のエミッタ電流を制御し放電を安定化することで、短時間出力ゆらぎは極めて少なく、また長時間光出力安定性は非常によい。(図5および図6)

また、本研究グループは素子動作電流が小さいことに着目し乾電池駆動のコンパクトな遠紫外線光源を作製した。直列単三乾電池4本から得られる電圧を市販のアップコンバータで昇圧し素子を駆動することにより、数時間にわたる駆動が可能となった。(図2は動作時の写真)

## 3. 社会への波及効果と今後の展開

コンパクトで高効率の遠紫外領域の発光素子が開発されると多方面の応用が考えられる。例えば、光触媒による環境汚染物質の分解処理法の光源や、病院や食品加工などで用いられる殺菌用水銀ランプのコンパクト発光素子への置換えによる省エネ化および無水銀化など多種多様な応用分野が期待されている。

本試作素子は、手のひらサイズでありながら、波長  $225 \text{ nm}$  の単色光出力をすることを特徴とし、熱線吸収フィルターを必要としない一般遠紫外(UV-C)冷光光源 (用語解説 4) として応用可能である。また、乾電池駆動が可能であることから可搬性に優れ、コンパクトサイズを活かしたこれまでにない新たな応用用途への展開も期待される。

昨今、EU での RoHS 指令<sup>5)</sup>に例を見るような環境配慮型の水銀レス紫外発光デバイスへの要請はますます重要性を増して行くことが予想される。このような社会的要請を背景に、今後は水銀ランプの置き換えと成りうる本試作素子のさらなる高効率化、長寿命化に挑戦していく。

## 4. 謝辞

本研究の一部は、科学研究費補助金基盤研究 (A) (19205026) 並びに、同、“特定領域研究機能元素のナノ材料科学” (領域番号 474)、文部科学省世界トップレベル研究拠点事業の補助金などの助成を受けたものである。

## 5. 問い合わせ先

(報道担当)

〒305-0047 茨城県つくば市千現1-2-1

独立行政法人物質・材料研究機構

企画部 広報室 TEL : 029-859-2026 FAX : 029-859-2017

(研究内容に関すること)

独立行政法人物質・材料研究機構

光材料センター

主幹研究員 渡邊賢司 (わたなべ けんじ)

TEL : 029-860-4309 (ダイヤル) 又は 029-860-4698 (オフィス)

E-Mail : WATANABE.Kenji.AML@nims.go.jp

主席研究員 谷口 尚 (たにぐち たかし)

TEL : 029-860-4413 (ダイヤル) 又は 029-860-4693 (オフィス)

E-Mail : TANIGUCHI.Takashi@nims.go.jp



図 1-A 試作素子の写真（単三電池は大きさ比較のため）



図 1-B 試作素子の動作時の写真（青白く光っている部分が発光領域～光が出ているところ）



図 2 電池式遠紫外光源：単三電池 4 本で素子が動作している。  
（左側の水平の青いラインが発光部分）

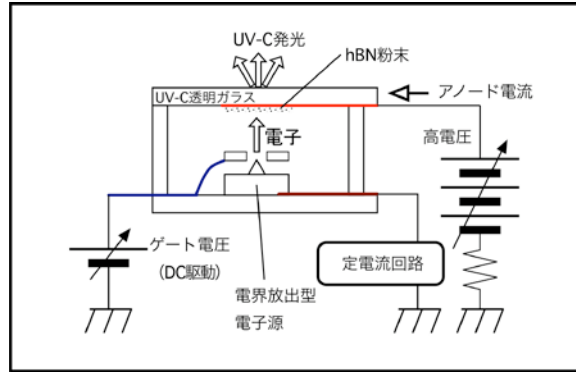


図3 試作素子の構成

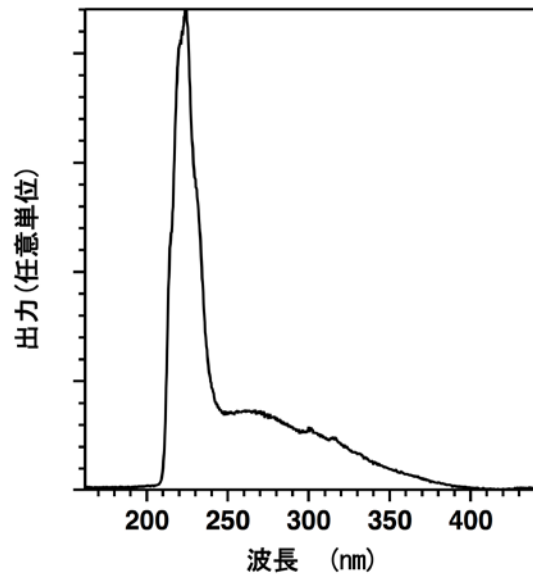


図4 試作素子の光出力スペクトルの一例：主要光出力は波長 225nm をピークとする。250 から 400nm に分布する弱い発光出力は発光層の不純物欠陥に起因する。

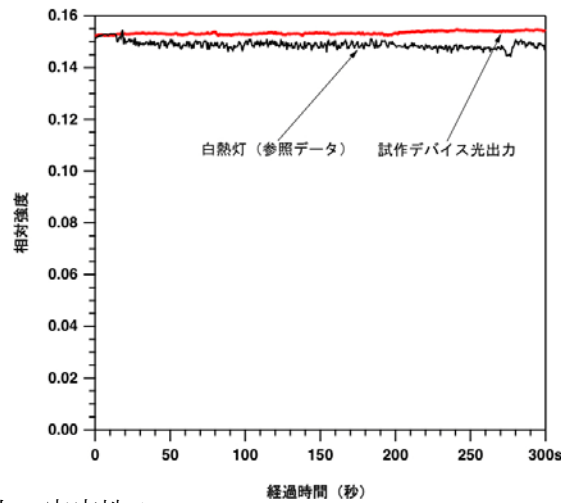


図5 遠紫外光出力の安定性 1  
参照データとして白熱灯の例を示す。エミッタ電流制御により安定な光出力が得られている。

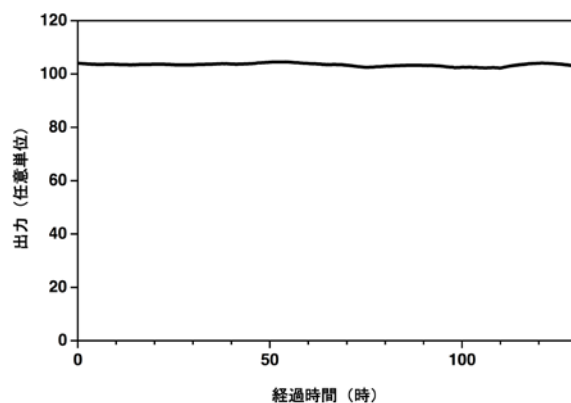
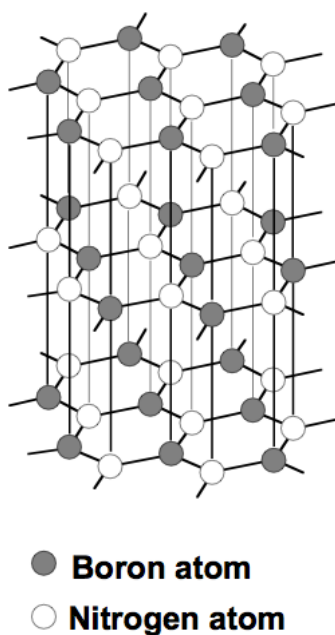


図6 遠紫外光出力の安定性2 (130時間動作の一例)  
長時間でもゆらぎは少ない。



参考図 六方晶窒化ホウ素 (h-BN) の結晶構造模型

ホウ素原子 (Boron) と窒素原子 (Nitrogen) の六角ネット状の層が積み重なって層状構造を形成している。絶縁・耐熱材料や摺動材として広い応用用途がある無害の物質である。

## 用語解説

### 1) 六方晶窒化ホウ素

(h-BN:hexagonal boron nitride)

窒化ホウ素の安定な構造のひとつ。窒素原子とホウ素原子が参考図のように六角形ネットの層状構造をとる。熱力学的・化学的に安定なことから現在は絶縁体や耐熱材料などに多く用いられている。

### 2) 紫外光領域

(可視光波長より波長の短い光：波長 400nm 以下)

UV-A は、400 から 315nm、UV-B は、315 から 280nm の領域を意味し、太陽光線にも含まれ地表にも到達しており日焼けの原因となる。一方 UV-C (280nm 以下の短波長の光) はオゾン層で吸収されてしまうので地表には到達しない。UV-C はオゾンの分解や有機物の分解を促進することから紫外線による表面洗浄や殺菌に利用されたりする。

### 3) 冷光光源

冷光とは熱源となる赤外線などの波長の光成分を含まない光のことを指す。冷光かどうかは、対象とする波長以外熱源となる光を多く含むかどうかで決まる。本素子の場合、225nm 帯以外の出力は極めて低いので熱源とはならない。近年話題になっている白色 LED 光源は可視光のみを出力し、熱源となる赤外光を含まないので冷光照明と呼ばれている。

一般に UV 光源として広く使われるキセノンランプ等は、UV 領域以外に可視から赤外に渡って強い光を放出するために、照射された対象物は光吸収による激しい温度上昇を伴う。従って、このようなランプを冷光光源として用いるためには、熱対策のために熱線を吸収あるいは反射する高性能なフィルターが必要となる。一般に 230nm 以下の短波長を透過させ、それ以外の光を遮断する熱線フィルターは技術的に非常に難しい。

### 4) h-BN 単結晶粒子を発光層に用い加速電子線源で励起する小型遠紫外発光素子

本素子の基本原理は CRT と同じものである。陰極から電子を放出し蛍光体である六方晶窒化ホウ素 (h-BN) 粒子を励起し発光させる。本試作品では、Mo(モリブデン)の回転蒸着法 (Spindt 法) を用いた電界放出型電子源アレイを陰極として採用し、安定な光出力特性を得ている。

### 5) RoHS 指令

欧州連合 (EU) が 2006 年 7 月 1 日に施行した電子電気機器に含まれる有害物質の規制で水銀などの 6 物質が規制される。小型蛍光灯などの水銀が必須の製品は、現在対象から除外されている。