

事後評価報告書

評価委員会開催日：平成18年8月1日

評価委員：（敬称略、順不同）

杉野 隆 大阪大学大学院工学研究科 教授 （主査）
 齋藤秀俊 長岡技術科学大学物質・材料系 教授
 寒川誠二 東北大学流体科学研究所附属流体融合研究センター 教授
 森 勇介 大阪大学大学院工学研究科 助教授

記入年月日：平成18年11月7日

課題名	新規高輝度深紫外線発光結晶の探索
研究責任者名及び所属・役職	谷口 尚 物質研究所 超高压グループ 主席研究員（現在：ナノ物質ラボ超高压グループリーダー）
【実施期間、使用研究費、参加人数】	実施期間：平成16年度～平成17年度 使用研究費（期間合計）：運営費交付金：51百万円、外部資金：13百万円 参加人数：（平成17年度）7人（専任：0人、併任：4人、ポスドク：2人、技術補助：1人）
【研究全体の目的、目標、概要】	<p>研究目的及び具体的な研究目標： 紫外線固体発光素子の開発研究において、発光波長の短波長化は情報記録分野のみならず、除菌や殺菌等の環境保全分野等の新たな需要に向けて重要な研究課題である。</p> <p>本研究は新規の高輝度深紫外線発光材料として、提案者らにより新たに見出された六方晶窒化ホウ素（hBN）のワイドバンドギャップ半導体としてのユニークな特性に改めて着目し、その光物性を明らかにするとともに、新たな深紫外線発光デバイスとして応用研究に向けた加速に寄与することを第一の目的とする。</p> <p>すなわち、hBNの高純度バルク単結晶の合成とドーピング技術の開発を行い、得られた結晶の光物性の評価を行う。また、新規の発光デバイスとしての応用上必要な、高品位hBN薄膜の合成条件の探索を行う。</p> <p>一方、既存のワイドバンドギャップ半導体として知られている窒化アルミニウム（AlN）は、p型半導体の合成技術の開発が問題であり、これを成し遂げるためには高純度単結晶の合成と制御されたドーピングプロセスの確立が急務である。高純度hBN単結晶の合成と類似の手法をAlN結晶合成に適用し、優れた特性を示す結晶の合成条件を探索する。</p> <p>研究計画概要： 高压下フラックス法（2.5～6万気圧領域）によりhBN並びにAlN単結晶の合成実験を行い、高輝度発光hBN結晶、高純度AlN単結晶を得るための合成条件の最適化を行う。更に高純度結晶への不純物のドーピングを試みる。</p> <p>得られた低欠陥、低不純物hBN単結晶を、光吸収分光法、カソードルミネッセンス分光法などにより調べ、励起子関連スペクトルの探索等、バンド端発光挙動の評価を行う。また、結晶中の不純物・欠陥の評価を行い、光学的特性との相関、欠陥導入による電子励起状態変化の相関等を明らかにする。</p> <p>新たな発光デバイスの構築を目指す上では、良質な高純度薄膜の合成プロセスを確立する必要がある。そのため、気相合成法による高純度hBN薄膜の合成条件を探索する。</p>

<p>【全研究期間の成果等 (研究全体)】</p>	<p>研究成果(アウトプット)、成果から生み出された効果・効用(アウトカム)、波及効果(インパクト)：</p> <p>本研究で得られた高純度hBN単結晶の光物性を評価する過程で、劈開により得られた単結晶薄膜への電子線励起により、波長215nm近傍における室温レーザー発振が観測された。大きな励起子束縛エネルギーの評価、直接型バンドギャップの確定、内在する不純物・積層欠陥とバンド端発光挙動の相関など、hBNの深紫外線発光材料としてのポテンシャルの高さを見出し、その特性発現のための幾つかの要因を明らかにしたことが、本研究の大きな成果といえる。</p> <p>高圧合成法により、辺長5mm程度の高純度単結晶の合成を目標としたが、現在までその寸法は2～3mm程度に留まっている。紫外線発光素子開発として、良質単結晶の大型化は必須の課題である。そこで気相合成法による高純度薄膜の合成にも新たに着手し、高純度・良質薄膜合成の最適化のための基礎データを得た。</p> <p>共同研究として進めた、計算科学による各種不純物元素のドナー、アクセプタレベル等の予測は今後の電気伝導性制御への取り組みにおいて有益であろう。また、高圧下フラックス法における希土類元素(Ce等)の添加により、hBN単結晶中に明瞭な発光センターの形成が見られた。hBN中への制御されたドーピングを進める上での有用な指針が見出されたと評価している。</p> <p>同様の希土類元素等の添加効果がAlN単結晶の高圧合成において見出された。</p> <p>以上、新たな深紫外線発光素子材料の探索を目的として掲げた本研究において、hBN単結晶のポテンシャルを引き出し、更に今後の展開に向けた幾つかの有用な指針を得ることができた。</p> <p>論文：4.5件*、プロシーディングス：0.2件*、解説・総説：1.0件*、招待講演数：6.6件*（*：研究の寄与率を考慮した平成16～17年の値） 特許出願：7件、登録：0件、実施許諾：0件</p>
<p>【評価項目】</p>	<p>コメントおよび評価点</p>
<p>マネジメント 実施体制 (サブテーマ間関係、外部との共同研究の有効性)</p>	<p>コメント：</p> <p>サブテーマの多い研究内容であるが、結晶育成、評価、計算と良いチーム連携の下に、研究のポイントをクリアにして進めていると感じられる。研究は当初の計画から変更があったが、高圧利用の限界を理解した上での気相成長法への展開であり、理解できる。ただ、従来はここまでだったが、今回はこの目的に対してこのように取り組んだ、というような分かり易い説明が欲しかった。</p>
<p>*評価点(10点満点)：7 評価基準 9点：研究の効率向上に明確に寄与している 7点：よく考えられている 5点：平均的な体制 3点：もう少し考慮の余地があった 1点：プロジェクト遂行の支障となった</p>	
<p>アウトプット (論文、特許等の直接の成果。費用対効果を考慮)</p>	<p>コメント：</p> <p>hBNの束縛励起子発光を得て束縛エネルギーを計測するなど、これまでに得られていない基礎データを、多数得ることができた点で高く評価できる。またドーピングに関しても大きな成果が得られている。また実際に動作するUV発光素子を得た点でも優れている。ただ、2年間の成果とそれ以前の成果を、はっきり区別して説明すべきであった。この他、もう少し論文作成ができたのではないかという印象もある。</p>
<p>*評価点(10点満点)：8 評価基準 9点：質・量共に平均的プロジェクトの水準を大きく上回っている 7点：平均的水準より優れる 5点：平均的水準 3点：少ない 1点：問題がある</p>	

<p>目標の達成度 その他アウトカム、波及効果</p>	<p>コメント： 高品位なhBN単結晶合成プロセス確立と光物性測定については、優れた成果を得ており、目標は十分達成されている。高圧合成は単結晶合成プロセスとして大型化に限界があるが、1気圧でhBN育成可能なフラックスの研究など、高圧以外の手法に基づく新しい結晶成長プロセスにおいて新しい有望な成果を得ている。不純物ドーピングに関しても、一定の成果が得られており評価できる。これに関しては、今後の展開が期待される。UV発光素子については、今後試作品として技術レベルを上げることが望まれる。その他、発光を消してしまうメカニズム解明が、目標設定にあってもよかった。以上、目標は十分達成されたと考える。</p>
<p>* 評価点（10点満点）：6 評価基準 9点：一つの分野を形成した 5点：目標はなんとか達成された 7点：目標は十分達成され、当該分野に影響を与えた 1点：目標達成にはほど遠い 3点：目標の部分的な達成</p>	
<p>総合評価 研究全体に対する総合的な所見を記入。 また上記設定評価項目に含まれないその他の評価ポイントがあれば追加してコメント。</p>	<p>コメント： 目標に対する限界とその後の展開に関してきちんと対応しており、未達の部分もあったが、新たな展開も示されており、今後に期待できる優れた研究であった。特にhBNの光学特性に関しては、特性評価を進め、十分な成果を得ている。新しい合成方法にチャレンジして、次に続く成果が出ていることなどを見ても、全体的に着実に進歩しているという印象を受けた。hBNデバイスの実現には、大型高品質結晶化と不純物ドーピングという大きな難関があるので、それにどうアプローチするかが今後重要となろう。ただ、ボンドエキシトンを高輝度を得るための戦略作りが少し足りないようである。具体的にどれくらいの不純物濃度に抑えるべきか、どれくらいの欠陥密度に抑えるべきか、ダイヤモンド、ZnO、GaNなどの研究成果を参考にして、おおよその目標値を定め、それを検証していく、という手法をとればよかったかもしれない。</p>
<p>* 総合評価点（10点満点）：8 評価基準 9点：すべての点において模範的に優れている 5点：平均的 7点：総合的に優れている 3点：期待されたほどではなかった 3点：期待されたほどではなかった 1点：税金の無駄遣いである</p>	

なお評価点は、公表時一般にもわかり易いように、以下のようにS, A, B, Cを併記します。

- 9、10 S
- 8 A+
- 6、7 A
- 5 A-
- 3、4 B
- 0～2 C

評価点まとめ

マネジメント実施体制 (内外連携)	アウトプット	目標達成度、アウトカム 波及効果	総合評価
A	A+	A	A+