

研究課題別中間評価結果

1. 研究課題名: 高密度励起子状態を利用したダイヤモンド紫外線ナノデバイスの開発

2. 研究代表者: 大串 秀世 ((独)産業技術総合研究所ダイヤモンド研究センター副センター長)

3. 研究概要

本研究チームは、ダイヤモンド薄膜における励起子の紫外線発光の特異な非線形現象をデバイスに利用することを目的に、ダイヤモンドの高密度励起子の発光機構の解明やダイヤモンドによるナノデバイス化プロセスの基本的要素技術の確立を展開した。特に発光機構の解明では、40K 付近で励起子系のガス温度と格子温度が一定な擬似平衡状態下で、ボーズアインシュタイン凝縮 (BEC) の特徴である系の化学ポテンシャルがゼロになる結果を得ている。また紫外線発光ダイオードに必要な要素技術として、pn 接合制御低接触オーミック電極形成等の材料プロセスの研究を展開し、理想的な電流特性を観測している。

4. 中間評価結果

4 - 1. 研究の進捗状況と今後の見込み

本研究チームは、産総研、茨城大(平成 15 年度で完了)、環境研、北大、早大の 5 グループ構成である。超高品質ダイヤモンド薄膜の合成、pn 接合制御技術、励起子発光(紫外域)機構解明、高密度励起子状態の理論的検討、新紫外線センサーの開発、ナノスペースのデバイス構造の原子スケール観察、発光デバイスのナノ加工プロセスの研究を進めている。本研究の特異的な研究成果の起源は、原子平坦性をもつ超高品質ダイヤモンド薄膜にある。その薄膜ゆえに起きていると考えられる励起子の擬似状態を再現よく発現させる研究設備の開発は極めて挑戦的であり、予想外の時間が費やされたことから、紫外線発光デバイスの要素研究にやや遅れが発生している。今後は、産総研の整備されたプロセスを活用し、本チームのみが到達し得る超高品質ダイヤモンド薄膜応用デバイスのデモンストレーションのひとつとして、紫外線発光素子を実現することが見込める。

4 - 2. 研究成果の現状と今後の見込み

紫外線発光ナノデバイスへの応用を想定した、ダイヤモンドの励起子発光の非線形現象解明において、励起子系でのボーズアインシュタイン凝縮(BEC)の発見の可能性を見出した。BEC を立証できたとするには、まだ検証データに不足はあるが、この立証に成功すれば、科学的インパクトの大きさは計り知れない。一方ナノデバイス化のための pn 接合技術やオーミックコンタクトの形成技術等、デバイス開発への着実な前進も図られており、研究リソースの配分の重点化、適正化により初期の目標達成は可能であると判断している。

4 - 3 . 今後の研究に向けて

本チームの最大の武器は、比類なき高品質のダイヤモンド薄膜を持っていることである。室温レベルでの紫外線ナノ発光素子が励起子の BEC に由来するものであれば、物理学に大きな足跡を残すことになるが、プロジェクト期限内での完遂にはハードルが高いと言わざるを得ない。しかし紫外線ナノ発光素子のデモンストレーションは極限デバイスの実現性能を示唆することとして意義深い成果になることが期待される。

4 - 4 . 戦略目標に向けての展望

ダイヤモンド半導体は、その有する物性からシリコン半導体で実現困難な特徴あるデバイスを提案できる素材として注目されている。前半の研究では基礎物理学の関心事に注力したきらいがあるが、デバイス化の基礎検討は着実に進んでおり、工学的視点での推進を強化することで、戦略目標のひとつである限界突破の基礎となる科学・技術成果の提供が可能になるであろう。

4 - 5 . 総合的評価

励起子系の BEC の立証は、物理学積年の大テーマのひとつであり、極めて挑戦的である。今後は現在までに得られた成果についてピアレビューを受ける(有力論文誌に投稿する)ことで、コミュニティでの議論を踏まえた推進に切り替えることが望まれる。平行して進めてきた紫外線発光ナノデバイスの準備も進展しており、デバイスのデモンストレーション重点化を実現すれば、超高品質ダイヤモンド薄膜によって実現し得る極限性能を明示する成果が期待される。