

柊元 宏 「半導体の深い欠陥準位の制御と高効率発光素子への応用」

KUKIMOTO Hiroshi, “Control of Deep Levels in Semiconductors and Application for High-Efficiency Light-Emitting-Devices”

1. 略歴

1937 生誕、1961 東京大学工学部物理工学科卒業、1966 東京大学大学院博士課程修了、東京大学物性研究所助手、米国ベル研究所研究員を経て、1972 東京工業大学工学部助教授に就任、教授を経て、1996 東京工業大学を退職、凸版印刷株式会社取締役役に就任、2003 凸版印刷株式会社取締役副社長、2004 凸版印刷株式会社相談役、2005 東京工業大学統合研究院ソリューション研究機構機構長、2010 JVC ケンウッドホールディング株式会社取締役兼執行役員最高技術責任者などを歴任した。 2022 年 4 月 1 日 逝去 (84 歳)



2. 要約

柊元宏は、米国ベル研究所研究員時代に開拓した化合物半導体の深い欠陥準位の測定技術を東工大で展開し、高効率発光素子への応用研究として発展させた。特に、AlGaAs 系化合物半導体の DX センターの機構を解明すると同時に、有機金属気相成長法による高品質結晶成長技術を確立することにより、発光ダイオードやダブルヘテロ接合半導体レーザの高効率化、長寿命化に大きな貢献をしたことが世界的に高く評価されている。

3. 研究業績要約

3.1 AlGaAs 系化合物半導体の DX センターの機構の解明 (世界初)

AlGaAs 混晶化合物系は、選択ドープヘテロ接合の形成により高速電子デバイスやオプトエレクトロニクスで注目されてきたが、Al の組成比が 30%を超えると DX センターと呼ばれる深い欠陥準位が発生して、電子を捕獲する、非発光再結合中心となる等、デバイスの性能を著しく低下させるという問題があった。DX センターの起源については、諸説入り乱れてきたが、柊元の研究グループは GaAs に静水圧を加える実験により、Al の存在がなくても DX センターを形成することを世界で初めて実証して、バンド構造の変化が原因であることを明らかにした。^[1] 柊元らの発見により、化合物半導体ヘテロ接合の基礎物性に関する理解が著しく深まり、ヘテロ接合を利用する高速電子デバイスや半導体レーザなどの応用研究が格段に進展した結果、高速無線通信技術や光通信技術として製品化される

ようになり、情報通信社会の確立に大きく寄与した。

3.2 有機金属気相成長法（MOVPE 法）による低抵抗 p 型 ZnSe 薄膜の形成（世界初）

ZnSe は、ワイドバンドギャップの半導体で、短波長の光源として期待された材料であり、多くの研究者が pn 接合ダイオードの形成を目指した研究に取り組んできた。しかしアクセプター不純物をドーピングすると深い欠陥準位を形成してしまい、p 型 ZnSe と称しても抵抗率が高すぎてデバイスには使えなかった。柊元の研究グループは、当時開発されたばかりの MOVPE 法で原料の有機金属を開拓して、成長条件を探索し、低抵抗 p 型 ZnSe エピタキシャル薄膜の作製に初めて成功した。彼らは ZnSe の pn 接合ダイオードを試作し、青色の EL 発光を観測した。^[2]

この研究をきっかけに、多くのワイドバンドギャップ材料の高品質エピタキシャル薄膜の研究が格段に進展した。その成果、低電力照明器具や低損失パワー半導体など今日の生活に役立つ製品の誕生に貢献した。

3.3 欠陥制御に依る高効率 ZnS 青色発光ダイオードの作製（世界初）

柊元研究室では青色発光ダイオードの研究を更に以前から始めていた。ZnS は Zn の空孔が深い準位を形成するため n 型ドーピングも困難であった。高圧熔融法で作製した ZnS の単結晶を、Zn と Al の融液中で熱処理して急冷する方法により非平衡的に低抵抗 ZnS の作製に成功し、発光効率が 5×10^{-4} という当時としては世界最高効率の青色発光ダイオードを実現した。^[3] この研究を基礎にして、青色発光ダイオードの研究はその後、上述の MOVPE 結晶成長技術の革新により、大いに進展を遂げた。

4. 特記事項

柊元は定年まで 2 年を残して東工大を退職し、民間会社の凸版印刷株式会社に転職、研究開発と新規事業開拓でリーダーシップを発揮して取締役副社長を務めた。工学者としてのものづくりを極めるためには、学術研究にとどまらず、事業化によって達成されとの信念があった。さらに JVC ケンウッドホールディング株式会社でも技術戦略の最高責任者として陣頭指揮をとるなど、大学教授としては異色の存在であった。

5. 参考文献

- [1] M. Mizuta, M. Tachikawa, H. Kukimoto and S. Minomura, “Direct evidence for the DX center being a substitutional donor in AlGaAs alloy system, Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 24, L143 (1985).
- [2] T. Yasuda, I. Mitsuishi and H. Kukimoto, “Metalorganic vapor phase epitaxy of low-resistivity p-type ZnSe”, Appl. Phys. Lett. Vol. 52, 57 (1988).
- [3] H. Katayama, S. Oda and H. Kukimoto, “ZnS blue-light-emitting diodes with an external quantum efficiency of 5×10^{-4} ”, Appl. Phys. Lett. Vol. 27, 697 (1975).

(2022-12-26 小田俊理談)