

窒化物半導体の結晶成長とデバイス応用 ～発光ダイオードからパワー半導体デバイス～

電気電子工学科教授 只友 一行



最近、我が家の照明器具がやっとLED（発光ダイオード；Light Emitting Diodes）照明に変わりました。今から25年程前、私が民間企業で窒化ガリウム(GaN)

の結晶成長とLEDの研究開発をしていた時ですが、LEDを照明器具に応用する研究開発プロジェクトへの誘いが舞い込んできました。LED照明と関わりを持つことになった瞬間です。そしてLEDの出口戦略を明確に持った瞬間でもありました。以来、LED照明に関わることになるのですが、一般の家庭にLED照明が普及するには長い時間がかかることを実感した次第です。因みに、GaNは平成26年に赤崎勇名城大終身教授らのノーベル物理学賞の対象になった青色LEDの半導体材料です。

日本の総電力消費量の1/4が使われている照明の電気エネルギーを光エネルギーに変換する効率を改善し、省エネルギー・地球温暖化ガスの排出量の削減に貢献することがプロジェクトの目標でした。電気ので灯した「あかり」を実用化したのはエジソンですが、以来、白熱電球、ハロゲン電球、蛍光灯と、照明の光源は全て真空管を利用したものです。LED照明は真空管を使わず、全て固体で構成されているという意味でも画期的なものです。しかしながら、25年前のLEDの用途は電飾、交通信号灯、大型ディスプレイであり、青色LEDと青色光を黄色光に変換する黄色蛍光体とを組み合わせた白色LEDが携帯電話の液晶パネルのバックライトに使われ始めていまし

た。これらの用途は情報を「表示する」ために使いますが、照明用は物体を「照らす」ために使います。したがって、要求される明るさのレベルが違います。しかも、照明器具は既に存在しており、白熱電球は100円以下、蛍光灯も数百円で購入できました。LEDチップは1個100円で売れる時代でしたので、大手のLEDメーカーや照明器具メーカーはLED照明には消極的でした。ただし、LED照明のメリットは、省エネ以外に、水銀を使わないので環境に優しい、明るさ・色合い（色温度）の調整が容易なども挙げられます。

少々無謀なプロジェクトではありましたが、ある国際会議の帰りの飛行機の中で「閃き」があり、結果的には何とか目標をクリアすることができました。この時の閃きをベースにした論文の被引用件数は、Google Scholarで簡易に調べると560件でした。ここで得た教訓はエンジニア・研究者には考え続けることが重要ということ。考え続けていると、ふとした時に閃くものです。

蛍光灯は真空管に封入されている水銀から発する紫外線を、青色、緑色、赤色など様々な色の光に変換する蛍光体を介して照明用の光が作られます。LED照明はLEDチップから発する波長400nm（近紫外線）から460nm（青色光）の光を青色、緑色、赤色など様々な色の光に変換するのですが、25年前にはLEDチップから発する光を様々な色の光に変換する蛍光体は黄色蛍光体しかありませんでした。ニーズがなかったので、研究されていなかったのです。我々がLED照明の実現可能性を示してから、LED照明用の蛍光体研究が一気に

盛んになり、数年後には素晴らしい蛍光体が次々に開発されました。産業ニーズが顕在化すると研究者人口が増え、研究開発が加速されることを目の当たりにしました。常日頃からアンテナを張り、産業ニーズを先取りして研究開発テーマを選択することが重要であることを物語っています。

こうしてLED照明の可能性を世に示したのですが、当時「集積回路の半導体ビジネスは諸外国に首位の座を奪われてしまったが、LEDは二の舞にするな」とよく言われました。しかし、日本発の技術であり、研究開発では世界をリードしたGaN系LEDや半導体レーザー技術でしたが、ビジネスの世界は厳しく、諸外国との価格競争の結果、日本企業が次々と撤退していくことになりました。現在、私の知っている限り、LEDチップの結晶成長から行っている国内企業は数社です。ビジネスを成功させるためには研究開発だけではだめで、ビジネスモデルの構築、信頼できる企業との連携が重要だと思えます。

さて、山口大学に赴任してからもLED研究を続け、窒化物半導体の研究拠点を形成することを夢見て頑張っております。図1は研究室内の結晶成長実験の一風景です。最新鋭の世界と戦える設備を整えてアイデアで勝負しています。図2は山口大学で最初に学生が試作したLEDです。工学部の福利厚生館3階の



図1 研究室内の結晶成長実験の様子

LED照明は当研究室で学生が作製したLEDを使い、連携企業で照明器具に仕上げてもらったものです。

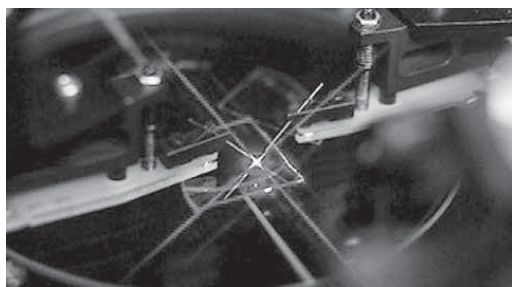


図2 山口大学で最初に作製した分割前のLED

LED等の光デバイスで実用化の進んだGaNには、バンドギャップが大きい、絶縁破壊電界強度が高い、電子の移動度が高い等の特徴があり、高周波デバイスやパワー半導体デバイスへの応用が期待され、一部実用化されています。高周波デバイスでは、GaN系HEMT（高電子移動度トランジスタ；High Electron Mobility Transistor）が5G（第5世代移动通信システム）の基地局用電力増幅器として使われます。研究室では、高出力HEMTへの応用を狙った鉄ドーピング高抵抗GaN基板の研究を進めています。パワー半導体デバイスでは、次世代スイッチングデバイス（縦型GaNMOSFETなど）用の低抵抗GaN基板の研究も進めています。産業ニーズを先取りした研究テーマの位置付けです。パワー半導体デバイスが電気自動車等に使われ、次の夢に繋がっていくことを願っております。

最後に、エンジニア・研究者には特に気合（集中力）・根性（考え続ける忍耐力）・知的好奇心の3つが必要だと思っており、これを当研究室のモットーとしています（図3）。



図3 研究室のモットー
(H16工学部長 三木俊克 揮毫)