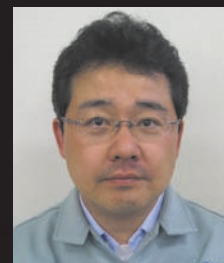


C

LEDの評価解析

LED(Light Emitting Diode)は、1996年に青色LEDと黄色蛍光体を組み合わせた白色LEDが開発され白色光源として注目を集め、照明としての利用が始まった。白色LEDは同じ明るさの白熱電球と比較して消費電力が1/10~1/5と低く、10倍程度の長寿命である。CO₂削減・省エネの観点から白熱電球は日本だけでなく欧米で生産中止の流れとなり、低消費電力の照明に置き換えるグリーン化は加速している。一方、蛍光灯に対しても点灯特性が良く、長寿命、水銀を含まないなど、環境面でのメリットがある。蛍光灯代替としては未成熟であるとされているが*¹⁾、白色LEDの発光効率は蛍光灯(100lm/W程度)に匹敵するレベルになり、年率20%のペースで向上すると見られている*²⁾。

LEDの高輝度化にともなってLED素子が高熱を発生し、LEDを構成する蛍光体、封止樹脂などの劣化により、寿命が短くなると言われているため、構成部材の耐熱性や放熱性を向上させるなどの熱対策が重要な課題となっている*³⁾。信頼性を確保し、さらなる効率向上のためにはLEDの評価・解析の果たす役割は重要である。本稿ではLED素子の評価解析事例を紹介する。



技術本部
エレクトロニクス事業部
技術部
豊田 忠

C-1 LED素子の評価解析

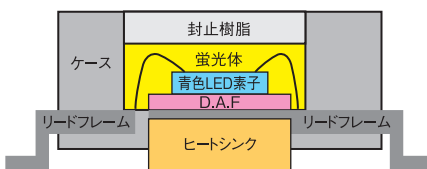
照明として用いられる白色LEDの寿命は、白熱電球のようにフィラメントが断線することで決まるのではなく、点灯時間にもなって構成部材の劣化により決まる。白色LEDは、青色LED素子、蛍光体、封止樹脂、リードフレーム、ワイヤ、ケース、反射板、接着剤などから構成され、一般的なLEDの構造例を第1図(a)に示す。LEDの発生する熱、光、電気ストレスは構成部材に対して様々な反応を促進し、光束低下を招く変質や機械的な不良を引き起こす。構成部材毎の評価項目と手法を第1表に示す。不良解析において電気的特性や外観観察による非破壊評価を行い、ある程度、不良箇所を絞り込んだ部材について、評価を実施することになる。

第1表 LED構成部材の評価項目と評価手法

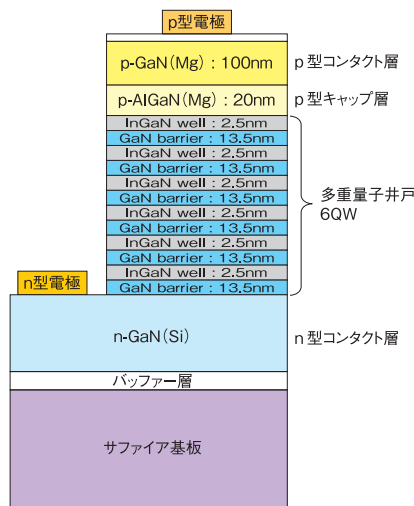
評価対象	評価項目	評価手法
LED素子	欠陥・転位・極性	TEM
	歪み力	TEM-CBED, XRD, ラマン分光
	結晶性	TEM-ED, XRD
	組成	TEM-EDX, XPS, AES, RBS
	ドーパント濃度	SIMS
	H分析	ERDA, SIMS
	電子トラップ評価	光ICTS
	エネルギーバンドギャップ評価	XPS, UPS, EELS
接合部 (電極、ワイヤ、 リードフレーム など)	形状観察	SEM
	組成	SEM-EDX, FE-AES, FE-EPMA
	結晶方位解析	SEM-EBSD
樹脂	組成	SEM-EDX, EPMA, IR, ラマン分光, TMA, TMG
	密着性	SAICAS
蛍光体	組成	SEM-EDX, EPMA, XRD, IR, ラマン分光
	熱伝導率	レーザーフラッシュ法、サーマル顕微鏡
反射板	反射率	分光光度計
	組成	SEM-EDX, FE-AES, FE-EPMA
	表面形状	SEM, SPM
信頼性試験	硫化水素暴露試験	外観観察、硫化水素浸入量評価

第1図

(a) 一般的なLEDの構造例



(b) 分析に用いたLED素子構造
(藤原研究室ご提供)



1-1 事例1 TEMによるLED素子の評価

本稿の評価解析に用いた試料は大阪大学大学院工学研究科・マテリアル生産科学専攻・藤原研究室よりご提供いただいたもので、LED素子の断面構造を第1図(b)に示す。サファイア基板は絶縁材料のために、2つの電極(p電極、n電極)とも基板と反対の積層膜側に配置している。n電極形成のためのn型GaIn(Siドープ)層の形成のあと、

参考文献

- *1) MA Myer, et al.: Performance of T12 and T8 Fluorescent Lamp and Troffers and LED Linear Replacement Lamps, DOE CALiPER Benchmark report, 2009
- *2) LED照明推進協議会, JLEDS Technical Report Vol.2 (2008)
- *3) EE Times Japan, 第3部 照明機器技術、長寿命確保には熱対策が不可欠, 2009.04

*4)
西澤普賢：
こべるにくす、TEM収束電子線回折法による局所歪み解析、No.33, Apr.2008

光を発生する活性層が形成される。この活性層は多重量子井戸 (MQW) と呼ばれる2つの層 (ペア層) の繰り返しの多層膜からなる領域で、6 量子井戸 (6 QW) となっている。その上にp型キャップ層とp電極形成のためのp型Ga_N (Mgドープ) 層が形成される。

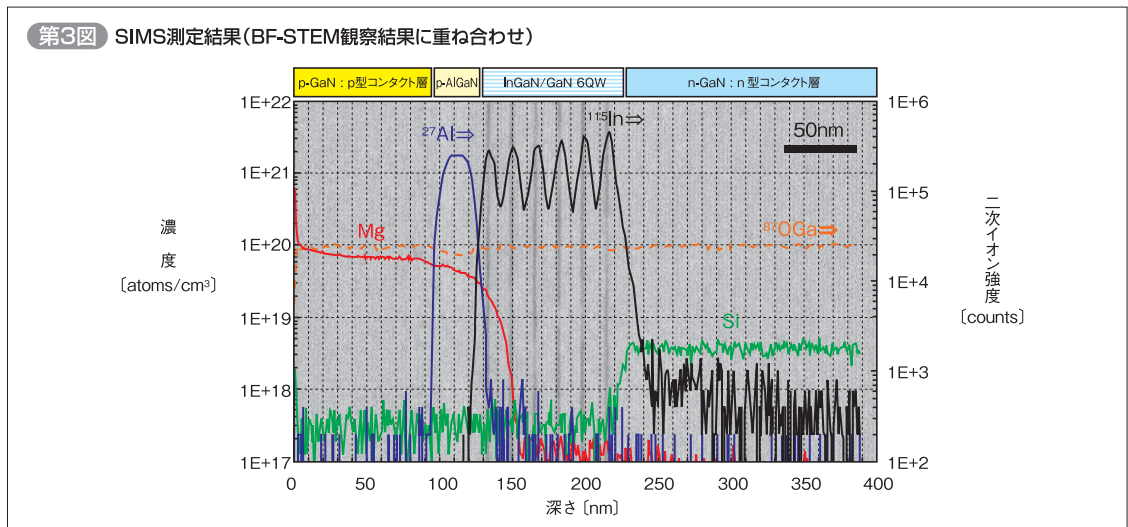
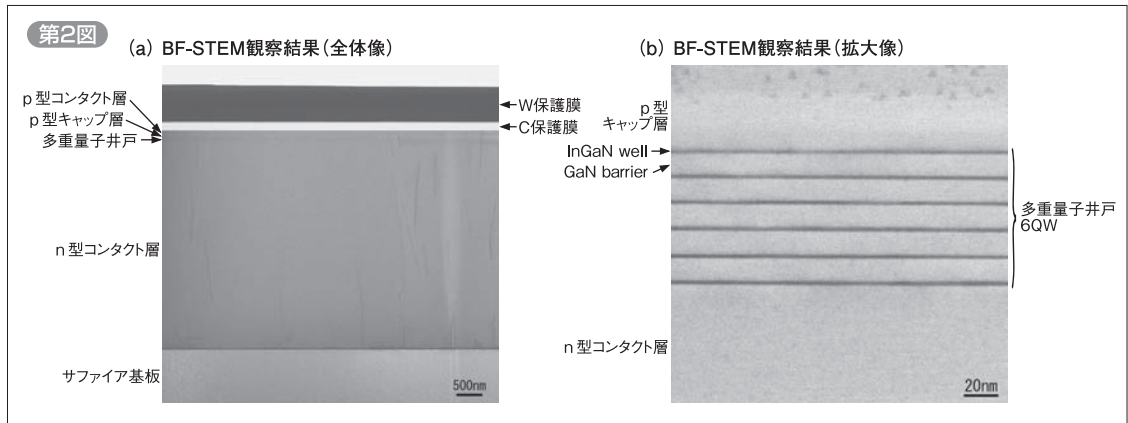
集束イオンビーム (FIB) により断面加工し、薄片化したLEDチップ断面を走査透過電子顕微鏡で明視野観察した結果 (BF-STEM) を第2図 (a) に示す。サファイア単結晶基板上にMOCVD (有機金属化学気相成長法) によりエピタキシャル成長させたGa_N膜で、膜厚は約2.7 μmとなっている。Ga_N膜はサファイア基板にほぼ垂直に黒い筋状の線が観察され、結晶欠陥 (転位) を示している。さらに活性層 (MQW) を高倍率で観察した結果を第2図 (b) に示す。黒い線が6本明瞭に見え、黒い線の間の層がバリア層 (Ga_N層、13.5nm) に対応し、井戸層/バリア層の6ペアがほぼ等間隔に製膜されている。当社では高度な前処理技術によりダメージの少ないサンプルを作製し、高分解能のTEM像を取得できる。

このようにTEMでは層構造、膜厚やその均一性、欠陥を評価できる。また、EDX (エネルギー分散型X線分光法) により層構造に対応した組成評価、電子線回折法 (ED) により特定微小領域の結晶性評価、CBED (収束電子線回折) により特定箇

所の歪み*4) を評価することができる。

1-2 事例2 SIMSによるLED素子の評価

二次イオン質量分析法 (SIMS) を用いてドーパント元素について深さ方向分析した結果を第3図に示す。この図はTEM観察結果にSIMSデータを重ね合わせている。表面側のMgドープp型Ga_N層で高濃度のMgが見られ、キャップ層のAl、続いて活性層の井戸層/バリア層の6ペアを反映した6本のInピークが見られる。このピークはTEMで観察された6本の筋と一致している。n型Ga_N (Siドープ) 層ではSiが一定濃度で分布している。活性層の表面側から深部方向に6本のInのピーク高さが高くなり、他の分析手法でもIn濃度が高くなっていることを確認している。なお、TEM-EDXでは分析領域の拡がりによりInの組成変化は捉えることはできなかったが、表面分析手法を併用することでわずかな組成変化を捉えることができる。また、SIMSでは%オーダーの主成分濃度レベルではマトリックス効果により正確な評価が難しいため、マトリックス効果の少ないAESでAl、Inを評価している。このようにSIMSは微量濃度領域の元素分布を高い深さ分解能で評価できる。また、他の分析手法などと組み合わせることで深さ組成も評価できる。

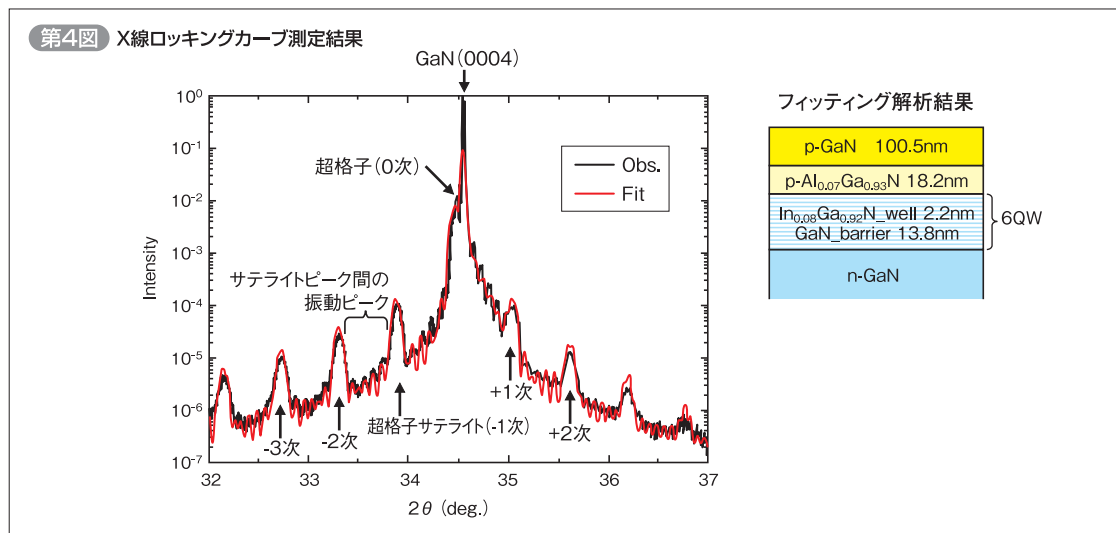


1-3 事例3 X線回折法(XRD)によるLED素子の評価

平行性の高いX線を用いた単結晶の回折角近傍の強度評価は、ロッキングカーブと呼ばれ、主にエピタキシャル膜の結晶性評価に用いられる。また、化合物の格子定数は組成比によって変わるため、ロッキングカーブからエピタキシャル膜の結晶の面間隔のみならず、組成評価も可能である。ロッキングカーブ測定結果を第4図、フィッティング解析結果を第4図の右側に示す。シミュレーションフィッティングは測定結果とほぼ一致して

いる。GaNのピークの近傍に超格子起因のピーク(0次)が見られ、その両側に特有のサテライトピーク(高次)が観測される。0次ピーク位置は井戸層のIn組成を反映する。サテライトピークの間隔は井戸層/バリア層の1ペアの厚さに対応し、フィッティングによる解析結果16nmはTEM観察結果とほぼ一致している。さらに、サテライトピーク間の振動ピークは超格子の繰返し周期や積層構造に相関があり、6QWであることがわかる。

観測されたロッキングカーブを計算値でフィッティング解析することで、非破壊で広域における積層膜の膜厚および組成の評価が可能である。



参考文献

*5)
林富美男:
こべるにくす、半導体パッケージの解析技術、
Vol.9, Apr.2000

*6)
上野一也:
こべるにくす、EBSPを利用した実装評価技術、
Vol.13, Apr.2004

*7)
三宅修吾:こべるにくす、
薄膜材料の熱物性評価技術、No.32, Oct.2007

*8)
藤井秀夫:こべるにくす、
DVD反射膜用Ag合金スパッタリングターゲット、
Vol.12, Oct.2003

*9)
中井淳一ほか:
R&D 神戸製鋼技報、
Vol.52, No.2
(Sep.2002)、p.12

*10)
大西隆ほか:
R&D 神戸製鋼技報、
Vol.52, No.2
(Sep.2002)、p.17

*11)
高木勝寿ほか:
R&D 神戸製鋼技報、
Vol.55, No.1
(Apr.2005)、p.17

C-2 LED実装品の評価解析

LED素子は周辺接合材との線膨張係数が異なり、温度変化による応力が生じることによって結晶歪や欠陥が生じ、発光効率が低下するといわれている。今回紹介した手法を用いて劣化前後のサンプルを評価するにより、膜厚とその均一性の変化、歪や欠陥の増減、ドーパント元素の拡散有無、組成変化などを捉えることができる。

接合部は材料によって線膨張係数が異なるため、温度変化による接合部の剥離やクラックなどが生じる*5)*6)。LED素子周辺に用いられている樹脂

は熱だけでなく、素子自体の発光によって変色などの変質が生じる。また、吸湿性、ガス透過性の低下にもなって樹脂変質のみならず、周辺部材の酸化・硫化等の腐食を促進することがある。反射板には反射率の高いAg膜が用いられることが多く、Ag膜の凝集などが発生する。これらが複合的に発生することで光量の低下や不点灯の原因となり、その不良原因を第1表に示す評価対象ごとに調査することができる。

さらなる高輝度化が進み、特徴である長寿命を確保するためには、LED素子の高効率化とともに、耐光性・耐熱性・放熱性を改善した周辺部材の開発が加速される。今後、ますます重要な課題となる熱対策についても、熱物性測定*7)と温度測定を組み合

わせて、放熱設計に寄与できる評価技術の開発に取り組んでいる。また、Ag膜の凝集に対しても、当社独自の耐凝集性に優れたAg合金材料の技術を有している*8)~*11)、個別条件に応じた改善対策を提供していきたいと考えている。