



第2章 発光の原理から最新技術まで

進化する LED

田口 常正
Tsunemasa Taguchi

表示用だけでなく照明用途にも

発光ダイオード (Light-emitting diode : LED) は、半導体の p-n 接合に順方向電流を流すと発光する素子です。

今日製品化されている LED は、GaAlAs (赤色)、AlInGaP (黄橙色)、InGaN (青、緑色)、AlInGaN (紫外) などの III-V 族混晶半導体 (3 元、4 元) 材料を使って作られています⁽¹⁻⁷⁾。

LED は固体素子光源なので、高い安全性/低電圧駆動/小形/軽量/長寿命などの長所を有し、赤色については従来から表示板など白熱電球の代替として活用されています。

1993 年以降は、黄橙/緑/青の短波長領域において、高光度 LED (光度 : 10 cd 級) が開発されました。また、1997 年に、青色 LED で蛍光体を励起した白色 LED が開発/実用化され、導光表示板、LCD のバックライトに応用され始めました。青色 LED がさらに高光度化することにより、白色 LED の発光効率は約 100 lm/W を越えました。

また、近紫外 LED (380 nm ~ 410 nm) も外部量子効率 45% を越え、三原色蛍光体の組み合わせによる新しいタイプの白色 LED が開発されました [しかしながら、純緑色 LED (~550 nm) はまだない]。さらに、

AlGaN 系による 200 ~ 300 nm レベルの紫外短波長の LED の研究も行われています。表 1 に各種可視光、近紫外、紫外 LED の特性を示します。

現在の照明用 LED は、その機能が表示 (見る光、誘導する光) から照明 (照らす光) に変わり、従来の白熱電球、蛍光灯と同じような照明特性を有する固体光源/器具に変貌しつつあります。

LED の構造と発光メカニズム

● LED は化合物半導体

可視および赤外域の LED は、表 1 に示すように、ほとんどが化合物半導体から作られており、エピタキシャル成長技術を用いることにより、基板の上に活性層とクラッド層を積層させます。そのため、多数の化合物半導体の格子定数が一致する組み合わせにより、ヘテロ・エピタキシャル成長技術が用いられており、ZnO が再び注目されています。図 1 に、各種化合物半導体の格子定数、禁止帯幅と発光波長との関係を示します。

発光波長 λ と禁止帯幅 E_g は、

$$\lambda [\text{nm}] = \frac{1240}{E_g [\text{eV}]} \dots\dots\dots (1)$$

の関係があります。

表 1 製品化されている各種 LED の素材と特性例

色	素 材	発光波長 [nm]	光度 [cd]	外部量子効率 [%]	発光効率 [lm/W]
赤	GaAlAs	660	2	30	20
黄	AlInGaP	610 ~ 650	10	50	96
橙	AlInGaP	595	2.6	>20	60
緑	InGaN	520	12	>20	40
青	InGaN	450 ~ 475	>2.5	>40	20
近紫外	InGaN	382 ~ 400		>40	
紫外	AlInGaN	360 ~ 371		>40	
疑似白色	InGaN 青 + 黄色蛍光体	465, 560	>10		>100
3 波長白色	近紫外 + RGB 蛍光体	465, 530, 612 ~ 640	>5		>30

外部量子効率 ▶ 最初に注入された電気エネルギーのうちで外部に取り出される光エネルギーの割合

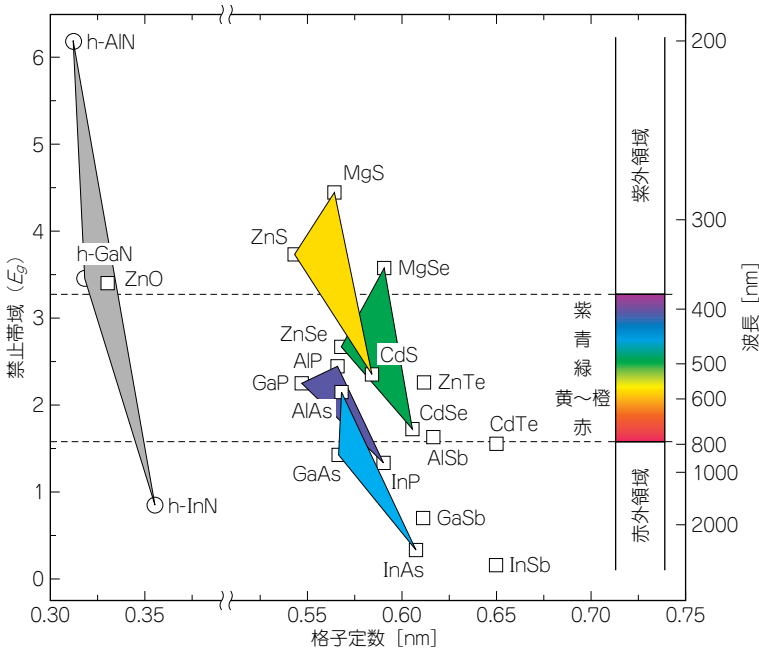
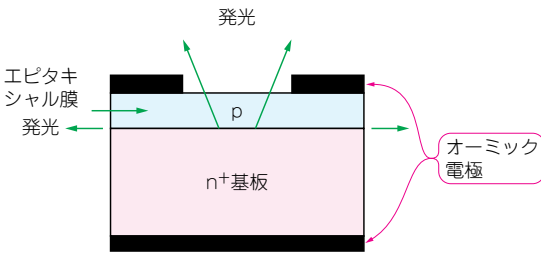
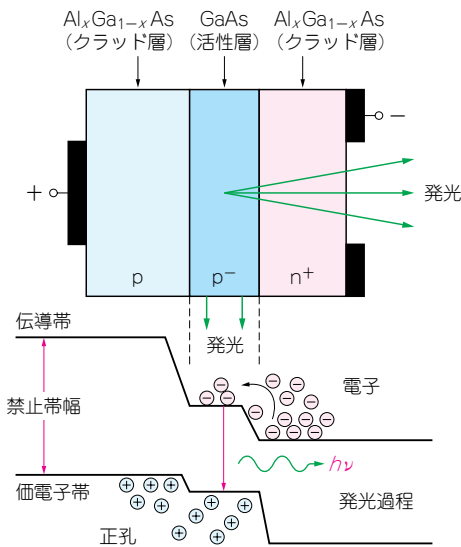


図1 各種化合物半導体の格子定数，禁止帯幅(E_g)と発光波長との関係



(a) 単一ヘテロ (SH) エピタキシャル p-n 接合 LED



(b) GaAs, AlGaAs を例としたダブル・ヘテロ (DH) 接合 LED

図2 単一ヘテロ (SH)・エピタキシャル p-n 接合 LED, GaAs, AlGaAs を例としたダブル・ヘテロ (DH) 接合 LED

● 高効率化のための構造

高効率化のためには，図2に示すように光の閉じ込めと電流狭窄を行います．通常，ダブル・ヘテロ (DH) 接合，および量子井戸 (QW) 構造を用います．

図2は，それぞれ，単一ヘテロ・エピタキシャル (SH) LED 構造，およびダブル・ヘテロ接合 (DH) LED 構造を示しています．両者ともエピタキシャル法により作られています．

接合部で効率良く発光させるためには，p型層を上部表面層にします．これにより，再吸収を抑えることができます．また， $n^+ - p$ 接合にすることで p 層への電子を注入しやすくします．

● LED の構造と配光特性

LED の構造と配光特性の概略を図3に示します．砲弾型，表面実装型でもさまざまな型の LED 構造が採用されていますが，図3に示すように，基本的に配光分布を制御するためのレンズ設計がなされています．

特に，砲弾型 LED は形状によって配光分布が異なり，図3(b)に示すように光軸に対して (θ , ϕ) 対称性を有します．そのため，発光波長 λ の LED の発光強度分布を表す下記の放射光度関数 $I_R(\theta, \phi, \lambda)$ が必要となります．

$$I_R(\theta, \phi, \lambda) = I_{R0} \cos^n(\theta) e^{-\frac{1}{2\sigma^2} \left[\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_p} \right]^2} \dots (2)$$

ここで I_{R0} は発光強度， n は配光指数， σ は発光スペクトルをガウス分布と仮定したときに生じる偏差， λ_p は発光ピーク位置です．

また，表示用 LED と異なり，物体など対象物を照らす場合は照度 (lx) が必要であり，有色，白色 LED

電流狭窄 ▶ 電流の通る部分を制限すること，その構造。
格子定数 ▶ 結晶構造における単位構造の辺の長さ