

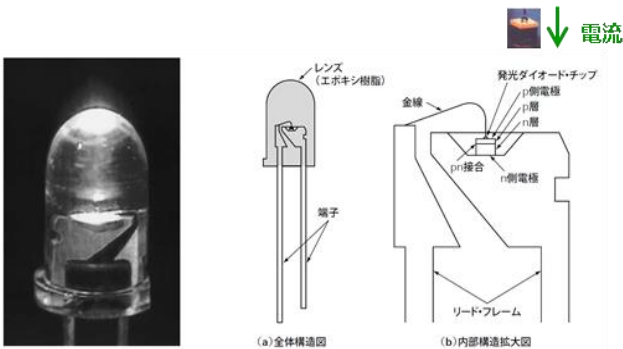
LED デバイス

# LED デバイスについて

最近市場では、表示機器などで多くの LED 製品が使用されている。このアプリケーションノートでは、LED 製品に使用されているデバイスの発光原理、製造方法等、について説明しています。

## 発光ダイオード (LED) の概略

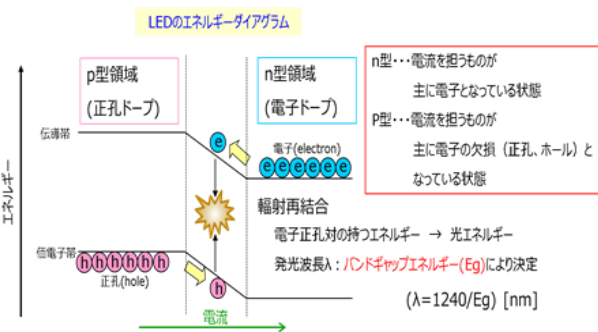
発光ダイオード(LED)とは Light Emitting Diode の頭文字とつたもので、電流を注入すると発光する半導体素子です。



せることで発光素子の機能を得ることができます。

III		IV		V	
5	10.81	6	12.01	7	14.01
B	Boron	C	Carbon	N	Nitrogen
13	27.0	14	28.1	15	31.0
Al	Aluminum	Si	Silicon	P	Phosphorus
31	69.7	32	72.6	33	74.9
Ga	Gallium	Ge	Germanium	As	Arsenic
49	115	50	119	51	122
In	Indium	Sn	Tin	Sb	Antimony

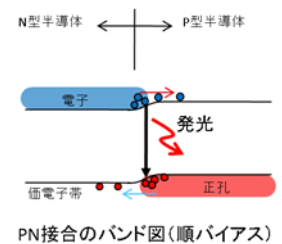
## LED の発光原理



## 各材料と発光波長

化合物半導体 (構成元素は Ga,Al,In,P,N,As など) はその構成元素、混晶比によりその発光波長λが異なります。また化合物半導体のバンドギャップエネルギーEg で波長は決まります。

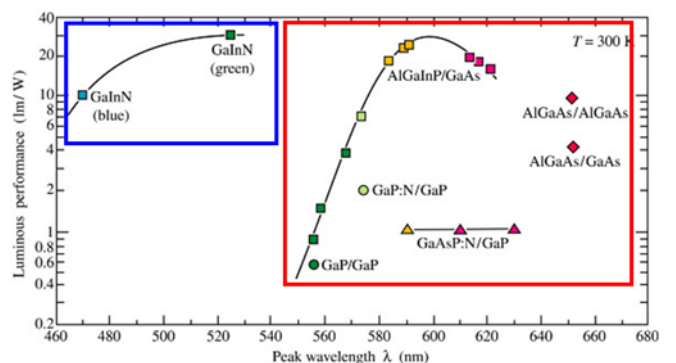
$$\lambda = \frac{1240}{E_g} \quad [\text{nm}]$$



発光再結合: p 型層から注入された正孔と、n 型層から注入された電子が再結合することにより発光する。

## 発光素子の材料

Si,Ge などIV族 (単元素) 半導体は電子正孔対の結合時に発光を伴いにくい。それに対して GaN,GaAs,InP などIII-V 族化合物半導体は電子正孔対の再結合時に発光を伴いやすい。組み合わせ例としては GaAsP,AlGaAs,GaP, InGaP, InGaAlP などがあります。これらを所定の基板に結晶面をそろえて成長 (エピタキシャル成長) さ



## 発光素子の材料

発光材料と発光色の関係を以下の表に示しておきます。駆動電圧についても発光色によりおおよそ決まります。

チップ材料		接合形成法	色	ピーク波長 (nm)	光度 (mcd)	駆動電圧 (V)	禁制帯幅 (eV)
発光層	基板						
GaP (Zn, O)	GaP	液相成長	赤	700	40	2	2.26
Ga <sub>0.85</sub> Al <sub>0.35</sub> As (DDH)	GaAlAs	液相成長	赤	660	5,000	1.9	1.9
Ga <sub>0.85</sub> Al <sub>0.35</sub> As (DH)	GaAs	液相成長	赤	660	2,500	1.9	1.9
Ga <sub>0.85</sub> Al <sub>0.35</sub> As (SH)	GaAs	液相成長	赤	660	1,200	1.8	1.9
GaAs <sub>0.95</sub> P <sub>0.05</sub>	GaP	気相成長拡散	赤	635	600	2	1.95
GaAs <sub>0.95</sub> P <sub>0.05</sub>	GaP	気相成長拡散	黄	585	600	2	2.1
(Al <sub>0.05</sub> Ga <sub>0.95</sub> ) <sub>0.5</sub> In <sub>0.5</sub> P	GaAs	MOCVD	赤	647	6,000	2.1	1.92
(Al <sub>0.2</sub> Ga <sub>0.7</sub> ) <sub>0.5</sub> In <sub>0.5</sub> P	GaAs	MOCVD	橙	609	10,000	2.1	2.04
(Al <sub>0.3</sub> Ga <sub>0.7</sub> ) <sub>0.5</sub> In <sub>0.5</sub> P	GaAs	MOCVD	黄	591	8,000	2.1	2.1
(Al <sub>0.45</sub> Ga <sub>0.55</sub> ) <sub>0.5</sub> In <sub>0.5</sub> P	GaAs	MOCVD	緑	560	1,000	2.1	2.2
GaP(N)	GaP	液相成長	緑	565	1,000	2	2.26
In <sub>0.45</sub> Ga <sub>0.55</sub> N	サファイア	MOCVD	緑	520	10,000	3.5	2.38
In <sub>0.2</sub> Ga <sub>0.8</sub> N	サファイア	MOCVD	青	465	3,000	3.6	2.67
In <sub>0.1</sub> Ga <sub>0.9</sub> N	サファイア	MOCVD	紫	405	-	3.7	3.06

## LED チップの高輝度化について

LED 素子を高輝度化するためには以下のようなアプローチを行います。

### 1. 内部発光効率の向上

活性層（発光層）での発光量を上げる。そのためには高品質な結晶を作ったり電子と正孔の再結合効率をよくする構造などを行う必要があります。

### 2. 外部発光効率の向上

発光層で得られた光を LED チップの外へより多く取り出す構造にしていく必要があります。

## 発光層の構造

LED の代表的な発光層構造としては以下のような構造がある。

ホモ接合素子→GaP(黄緑), GaAsP(黄〜赤), GaAs(赤外)等

- 構造が簡単
- 発光効率：低
- LPE法、VPE法で作製
- 身近な所で使用されている (パイロットランプ、リモコン等)

シングルヘテロ(SH)構造素子→AlGaAs(赤, 赤外)等

- 発光効率：中
- LPE法で作製
- アミューズメント等にて使用
- 高速赤外通信

ダブルヘテロ(DH)構造素子→AlGaInP(黄橙赤)等

- 発光効率：高
- MOCVD法で作製
- 構造が複雑
- 屋外表示器
- 低電流使用で省エネ

多重量子井戸(MQW)構造素子→AlGaInP(黄緑〜赤), InGaIn(青〜緑), InGaAs(赤外)など

- 活性層内にEgの低いほみ(量子井戸)構造を多数形成することで、より電子・正孔を閉じ込めることが可能 →再結合確率最高
- 発光効率：最高
- MOCVD法で作製
- 構造がさらに複雑
- 屋外表示器
- 低電流使用で省エネ

## 結晶成長方法について

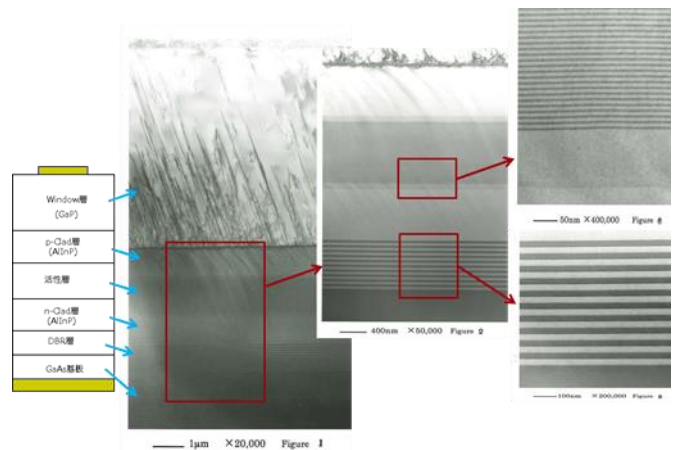
LED の発光層を作るうえでの成長方法について一覧表に示します。

結晶成長方法	膜厚制御性	成膜レート	大量生産	その他
液相エピタキシャル成長 (LPE : Liquid Phase Epitaxial)	× 数um ~10数um	◎	◎	古い手法だが低光度機種向けに現在も適用
気相エピタキシャル成長 (CVD : Chemical Vapor Deposition)	△ サブum ~数um	○	○	低光度機種向けに現在も適用
分子線エピタキシャル成長 (MBE : Molecular Beam Epitaxy)	◎ Åレベル	×	×	研究開発向け
原子層エピタキシャル成長 (ALE : Atomic Layer Epitaxy)	◎ Åレベル	×	×	研究開発向け
MOCVD法 (有機金属気相成長法) (MOCVD : Metal-Organic Chemical Vapor Deposition)	○ 数Å ~nm	○	○	広く量産適用されている生産方式

## TEM によるエピタキシャル膜の結晶構造観察

### (AlGaInP 系)

AlGaInP 素子構造について TEM (透過型電子顕微鏡) による構造を以下に示します。

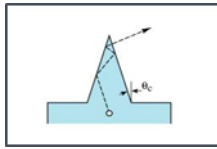


## LED チップ高輝度化 (外部発光効率の向上)

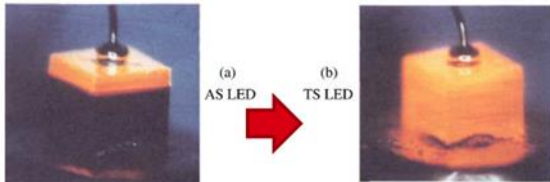
LED チップの高輝度の方法として外部発光効率の向上があげられます。これは LED 発光層で得られた光をチップの外に、より多くを取り出すことです。

その方法としては以下の様な方法を用います。

- 基板に光吸収されないような反射層を設ける。(DBR 層など)
- 素子表面に凹凸を設け素子表面での全反射を防止する。



- c) 表面に透明導電膜を設けて電流を広げる。
- d) 電流経路を変えて素子電極直下でなるべく光らせないようにする。
- e) エピ層を厚くして素子側面からの光の取り出しを増やす。
- f) 基板素材を光吸収素材から透明素材に変更する。



- g) チップサイズを大きくする。
  - f) 電極サイズを小さくする。
- などが挙げられます。

### AlGaInP 系 LED 素子構造比較

AlGaInP 系 LED 素子の通常輝度タイプと高輝度タイプ（張り合わせ構造）の構造の違いを以下に示します。

	赤色高輝度LED (貼り合わせ構造)	赤色通常輝度LED (P側上面構造)
素子構造 (断面模式図)	<p>Si基板 Auミラー層 pコンタクト層 発光層 nクラッド層 n電極</p> <p>基板の光吸収を抑えるため、金属ミラー層を内蔵</p>	<p>GaAs基板 nクラッド層 発光層 pクラッド層 pコンタクト層 透明電極 p電極 n電極</p>
素子上面外観	<p>n電極</p> <p>写真：310umx310um</p>	<p>p電極 透明電極</p> <p>写真：230umx230um</p>

### 赤色系素子と青色系素子の構造比較

赤色系素子（InGaAlP系）と青色系素子（InGaN系）の構造の違いを以下に示します。

	赤色通常輝度LED (P側上面構造)	青、緑色LED (2-wire基本構造)
素子構造 (断面模式図)	<p>GaAs基板 nクラッド層 発光層 pクラッド層 pコンタクト層 透明電極 p電極 n電極</p>	<p>サファイア基板 nクラッド層 発光層 pクラッド層 透明電極 p電極 n電極</p> <p>サファイア基板は青色光を透過するため、パッケージで反射される</p>
素子上面外観	<p>p電極 透明電極</p> <p>写真：230umx230um</p>	<p>p電極 透明電極 n電極</p> <p>写真：330umx330um</p>

## ご 注 意

- 1) 本資料の記載内容は改良などのため予告なく変更することがあります。
- 2) 本資料に記載されている内容は製品のご紹介資料です。ご使用に際しては、別途最新の仕様書を必ずご請求のうえ、ご確認ください。
- 3) ロームは常に品質・信頼性の向上に取り組んでおりますが、半導体製品は種々の要因で故障・誤作動する可能性があります。  
万が一、本製品が故障・誤作動した場合であっても、その影響により人身事故、火災損害等が起こらないようご使用機器でのディレーティング、冗長設計、延焼防止、バックアップ、フェイルセーフ等の安全確保をお願いします。定格を超えたご使用や使用上の注意書が守られていない場合、いかなる責任もロームは負うものではありません。
- 4) 本資料に記載されております応用回路例やその定数などの情報につきましては、本製品の標準的な動作や使い方を説明するものです。  
したがって、量産設計をされる場合には、外部諸条件を考慮していただきますようお願いいたします。
- 5) 本資料に記載されております技術情報は、製品の代表的動作および応用回路例などを示したものであり、ロームまたは他社の知的財産権その他のあらゆる権利について明示的にも黙示的にも、その実施または利用を許諾するものではありません。上記技術情報の使用に起因して紛争が発生した場合、ロームはその責任を負うものではありません。
- 6) 本資料に掲載されております製品は、耐放射線設計はなされていません。
- 7) 本製品を下記のような特に高い信頼性が要求される機器等に使用される際には、ロームへ必ずご連絡の上、承諾を得てください。  
・輸送機器(車載、船舶、鉄道など)、幹線用通信機器、交通信号機器、防災・防犯装置、安全確保のための装置、医療機器、サーバー、太陽電池、送電システム
- 8) 本製品を極めて高い信頼性を要求される下記のような機器等には、使用しないでください。  
・航空宇宙機器、原子力制御機器、海底中継機器
- 9) 本資料の記載に従わないために生じたいかなる事故、損害もロームはその責任を負うものではありません。
- 10) 本資料に記載されております情報は、正確を期すため慎重に作成したものです。万が一、当該情報の誤り・誤植に起因する損害がお客様に生じた場合においても、ロームはその責任を負うものではありません。
- 11) 本製品のご使用に際しては、RoHS 指令など適用される環境関連法令を遵守の上ご使用ください。お客様がかかる法令を順守しないことにより生じた損害に関して、ロームは一切の責任を負いません。本製品の RoHS 適合性などの詳細につきましては、セールス・オフィスまでお問合せください。
- 12) 本製品および本資料に記載の技術を輸出又は国外へ提供する際には、「外国為替及び外国貿易法」、「米国輸出管理規則」など適用される輸出関連法令を遵守し、それらの定めにしたがって必要な手続を行ってください。
- 13) 本資料の一部または全部をロームの許可なく、転載・複写することを堅くお断りします。

ローム製品のご検討ありがとうございます。  
より詳しい資料やカタログなどご用意しておりますので、お問合せください。

## ROHM Customer Support System

<http://www.rohm.co.jp/contact/>