

GaAs_{1-x}P_x 発光素子の特性とその応用Characteristics and Applications of GaAs_{1-x}P_x Light Emitting Diodes梅田 淳一* 塚田 俊久** 中村 智***
Jun'ichi Umeda Toshihisa Tsukada Satoshi Nakamura北村 勝敬**** 岩崎 孝四郎****
Katsuhiro Kitamura Takashirô Iwasaki

要 旨

GaAs_{1-x}P_x 発光ダイオードの発光特性について、組成比 x 、構造、製作条件、動作条件との基本的な関係を記した。組成比には最適範囲があり、 $x \sim 0.4$ 、発光波長 6,500~6,600 Å で輝度最大となる。輝度の均一性、発光のパルス応答特性、電流-輝度特性の直線性などの面から、単位の発光面積が小なる構造が好ましい。また樹脂コーティングは発光出力の増大に本質的な役割を果たしている。GaAs_{1-x}P_x 発光ダイオードの駆動は直流よりもパルスによるほうが有利であり、周波数は 200~300 MHz まで、瞬間輝度は数万 fL 以上に至るまで動作する。また具体的特性の例として、日立製作所で開発した点発光素子の電気的特性および発光特性に関するデータを示した。発光波長は約 6,500 Å で 25 mA 程度まで輝度の直線性が良く、パルス駆動による平均電流低減の効果も確認された。したがってインジケータ、あるいは文字表示などの表示素子として、GaAs_{1-x}P_x 発光素子は非常にすぐれている。

1. 緒 言

発光ダイオードは、放電管と異なり高い電源電圧を必要としない。また白熱電球とも違い小電流で発光し、しかも応答速度が非常に速い。

しかしながら、発せられる光は単色光であるため、用途に適した波長のものを選ばねばならない。また、消費電力が小さくて済むという特長を生かすためには、素子の設計段階および使用に際して、視感度を考慮して効率を大ならしめるように諸条件を吟味する必要がある。

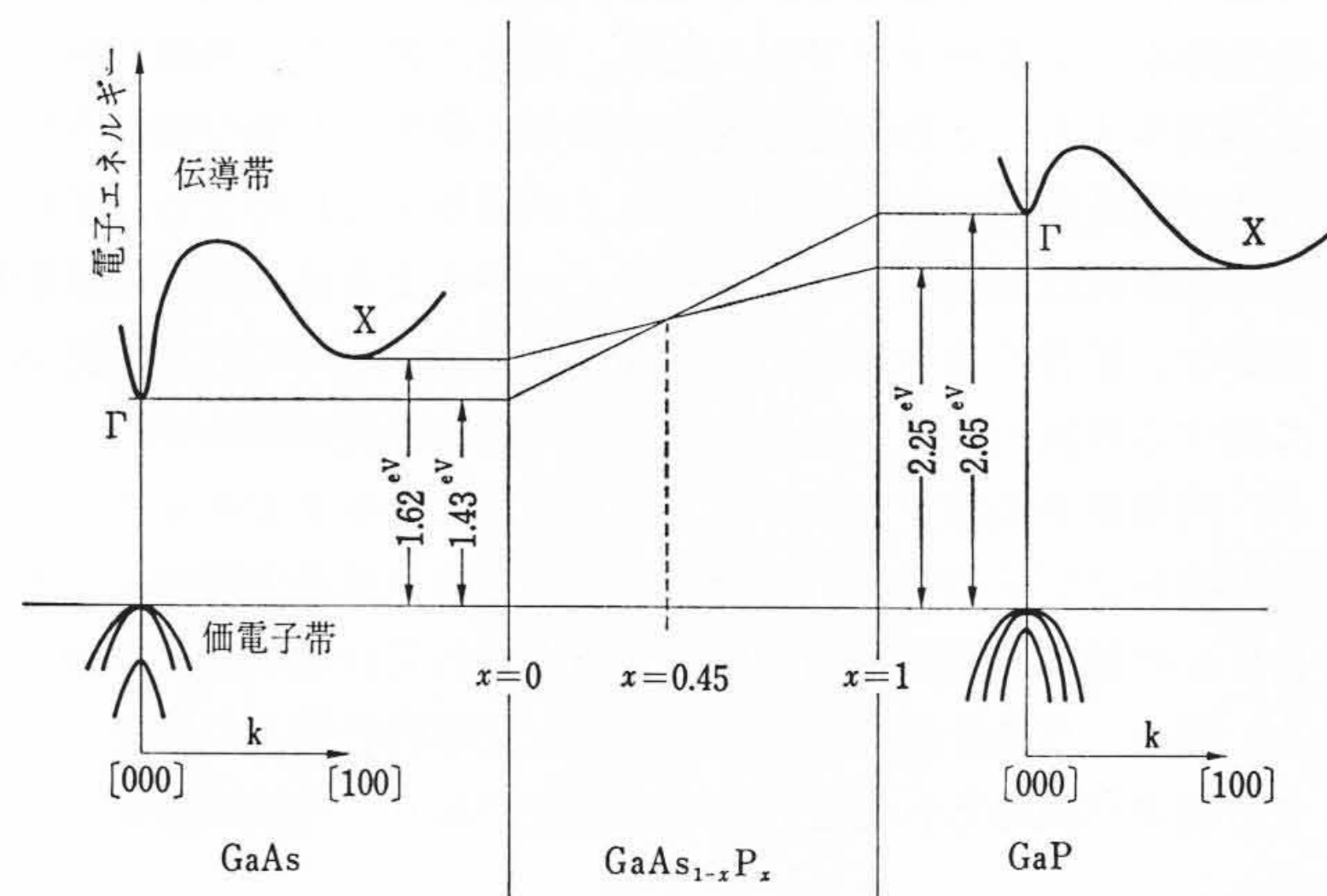
本稿ではまず GaAs_{1-x}P_x 発光素子の特性を決定する諸条件について論じ、次いで日立製作所で開発した点発光素子 HE1102 の特性について実測の結果を報告する。そして最後に応用についてふれる。

2. 基本特性

2.1 組成比と発光特性との関係

2.1.1 発光波長

GaAs_{1-x}P_x は、GaP (バンド・ギャップ $E_g = 2.25$ eV, 間接遷移形) と GaAs ($E_g = 1.43$ eV, 直接遷移形) との混晶で全域固溶し、室温において $x < 0.45$ で直接遷移形、 $x > 0.45$ で間接遷移形の電子帯構造を持ち、その交代点での E_g はおよそ 2 eV である⁽¹⁾。その様子を示したのが図 1 である。組成比 x に伴う E_g の変化に依り、発光の波長も x とともに変わる⁽²⁾。この関係を示したのが図 2 である。2 種の発光波長のうち、短波長側の発光は自由電子と自由正孔との再結合によるもの、長波長側の発光は自由電子と Zn 準位 (深さ約 40 meV) に捕獲された正孔との再結合によるものである。接合付近のドナー密度が $10^{16}/\text{cm}^3$ 台で接合面の表面からの深さが 1~2 μ 程度の場合には、室温では前者の発光が支配的である。ドナー密度が大なるほど、接合面の深さが深いほど、低温になるほど、後者の相対的強度は増大する。これはそれぞれ接合付近での Zn 準位密度が増すこと、短波長発光に対する結晶内での吸収が相対的に増すこと、Zn 準位が正孔で占められる確率が増すことによる⁽³⁾。また、ドナー密度が $10^{17}/\text{cm}^3$ 台以上の場

図 1 GaAs_{1-x}P_x 結晶の組成比と電子帯構造の関係

合には、いわゆるバンド・テリング効果のため、発光の波長は図 2 より多少長くなる。発光の波長は視感度の面のみからは、短いほうがよい (図 3)。

2.1.2 発光効率

x が増大し、X-バンドの底が Γ -バンドの底のエネルギー値に近づく (図 1 参照) につれ、発光の効率は急減する。これは、発光性遷移の確率が小なる X-バンドに分布する電子の割合が増大するため、非発光性遷移の占める割合が相対的に増大するためである。その様子は、X-バンド、 Γ -バンドの底のエネルギー値を E_X , E_Γ 、状態密度を N_X , N_Γ 、注入電子密度を n_X , n_Γ とすると、基本的には次の近似式で示される。

$$\eta_{\text{int}} \propto \frac{1}{1 + \frac{\tau_R}{\tau_N} \left(1 + \frac{n_X}{n_\Gamma}\right)} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{n_X}{n_\Gamma} = \frac{N_X}{N_\Gamma} \exp\left[-\frac{E_X - E_\Gamma}{kT}\right] \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 η_{int} は発光の内部量子効率、 $1/\tau_R$ は Γ -バンドにある電子のみが発光に寄与するとして、その発光の遷移確率、 $1/\tau_N$ は発光に寄与しない遷移の確率で $\tau_R \gg \tau_N$ である。ドナー密度が大なる場合には、この式で表わされるよりも小なる x で η_{int} は減少する。これは、X-バンドに付随したドナー準位の深さは、 Γ -バンドのそれよりはるかに深いので、より小なる x で X-バンドの

* 日立製作所中央研究所 理学博士

** 日立製作所中央研究所 工学博士

*** 日立製作所中央研究所

**** 日立製作所半導体事業部

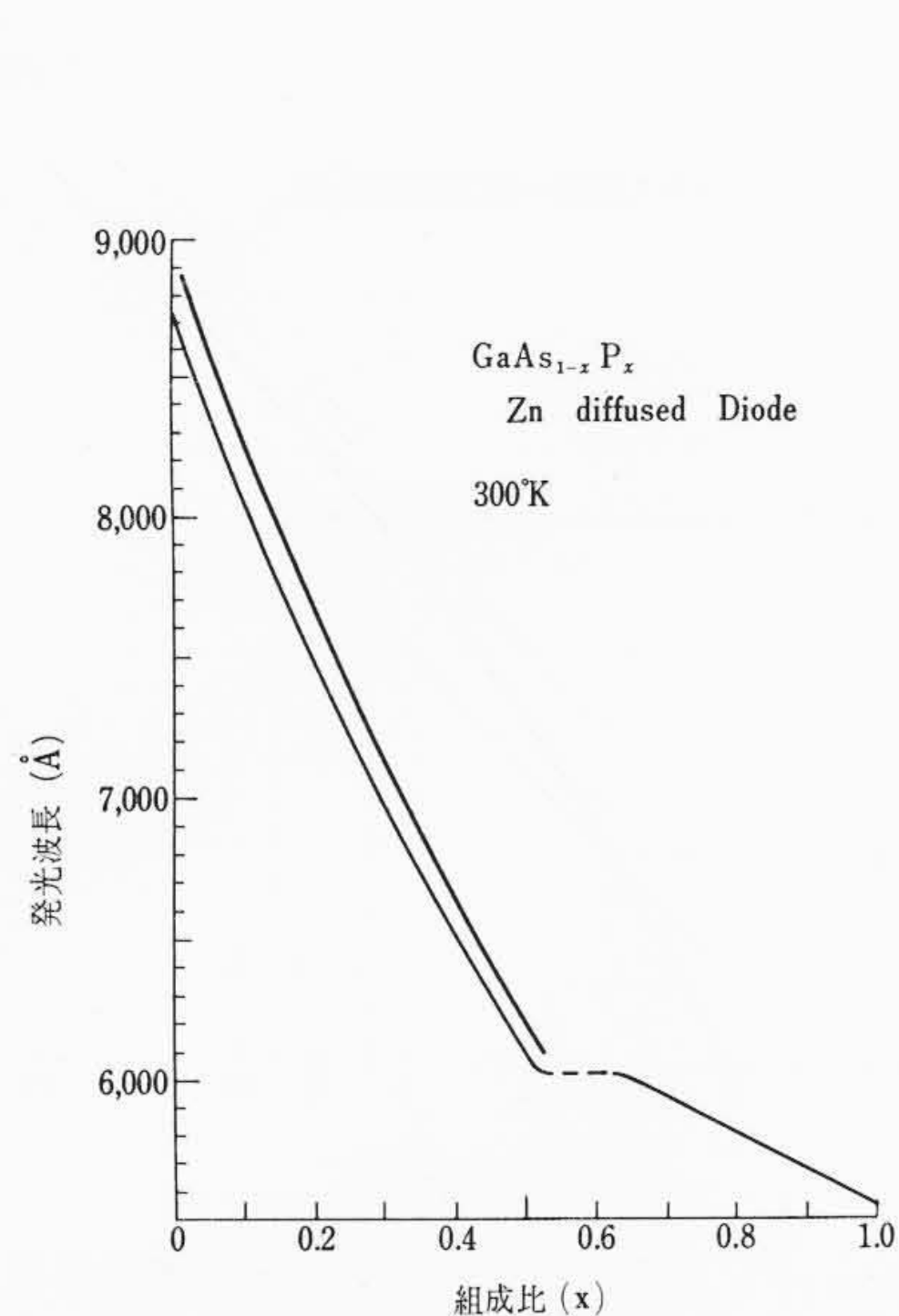


図2 GaAs_{1-x}P_x ダイオードの組成比と発光波長との関係⁽²⁾

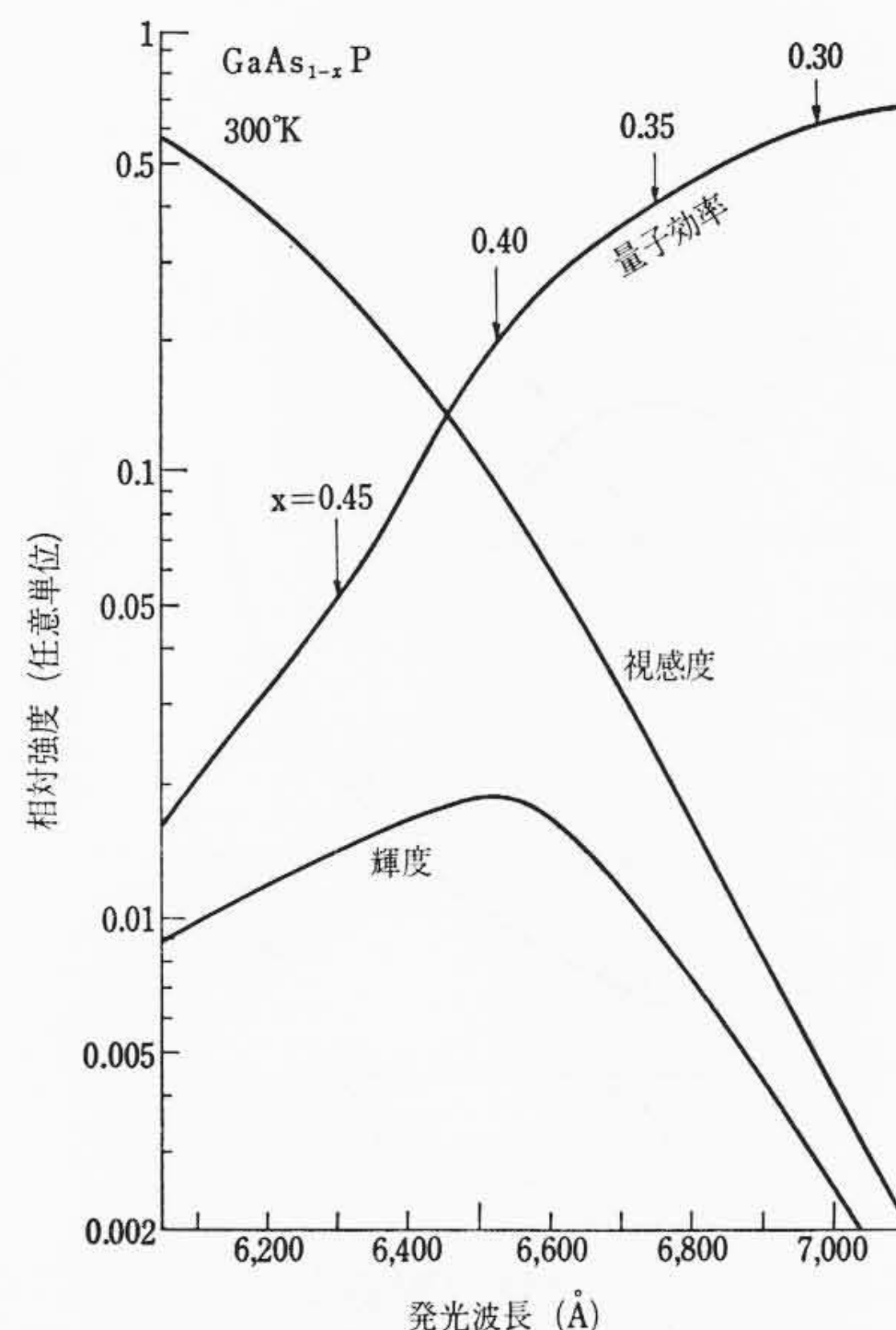


図3 発光波長と効率および輝度との関係

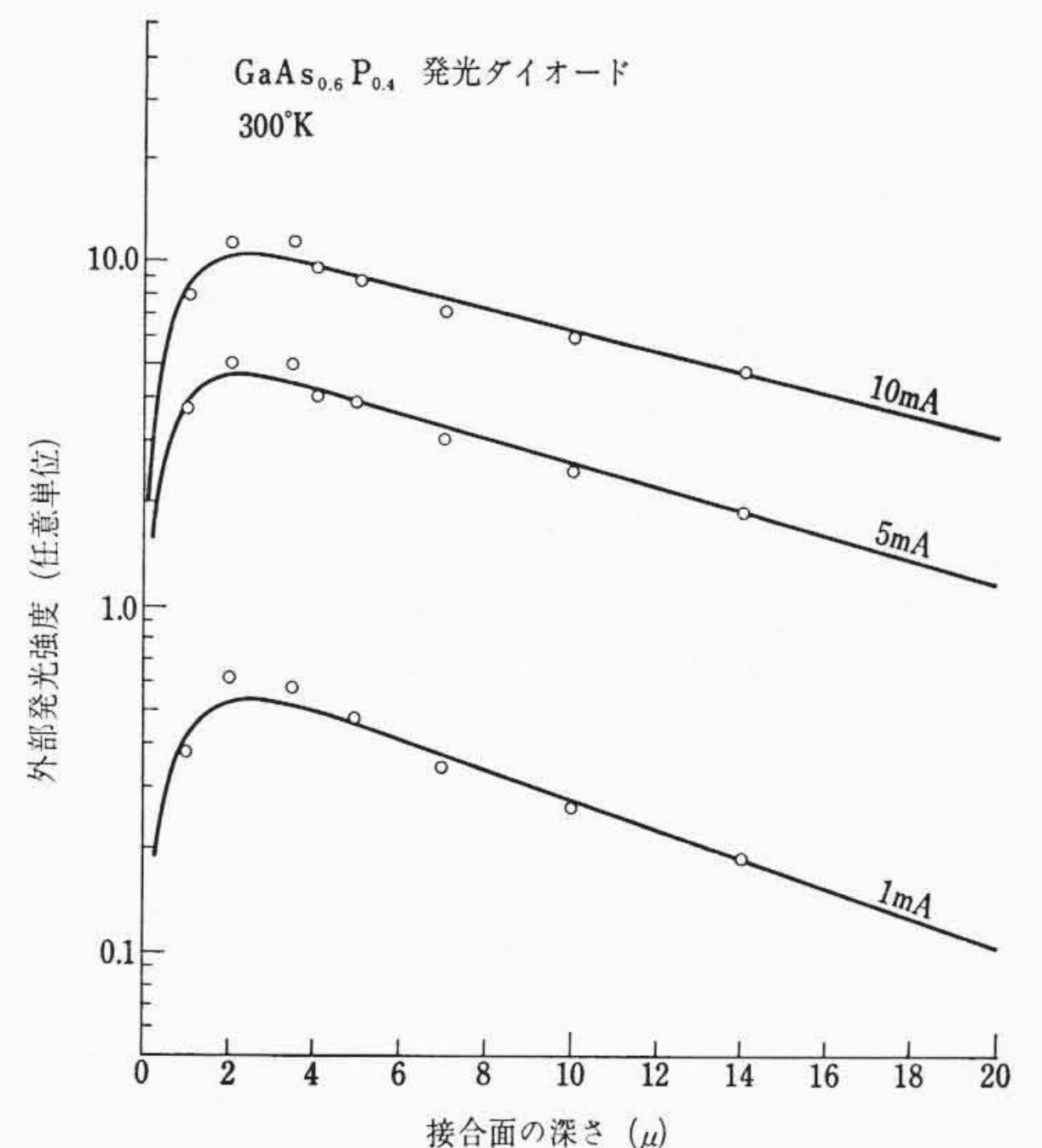


図4 接合面の深さと発光強度との関係

効果が現われるためである。また、実際には x を変えると E_x , E_r のみでなく、結晶性の差を通じて τ_N も一般には変化するので、組成に対する効率の依存は簡単ではない。実際の例を波長との関係で図3中に示してある。

2.1.3 最適組成

以上から、各組成比における視感度と発光効率との積で表わされる実際の発光ダイオードの輝度は、ある組成で最大となることが予想される。このグラフを図3中に示してある。これから、 $x \sim 0.4$ 、発光波長 6,500~6,600 Å が、表示用 GaAs_{1-x}P_x 発光ダイオードの最適組成範囲であることがわかる。

2.2 構造と発光特性との関係

発光は、接合面に接した p 層内で起こる。これは、電子の移動度が正孔に比べて非常に大きいこと、アクセプタ準位 (Zn の準位) がドナー準位に比べてはるかに深く、接合での正孔に対する障壁が電子に対するよりも実効的に高くなっていることなどによる。注入電子の拡散長 L_n は約 1μ で、発光は接合面からこの範囲内で起こる。この発光は p 層を通して外部へ導き出されるが、結晶外部に至る間に、結晶表面までの光路中での内部吸収と、結晶表面における内部反射を受けて減衰する。

2.2.1 内部吸収

結晶内の表面に達する光の強さ I は、発光部の光の強さを I_0 、接合面の深さを d とすると、 $d \gg L_n$ では、

$$I = I_0 \exp(-\alpha d) \dots\dots\dots (3)$$

で表わされる。 α は、発光波長に対する実効的な p 形結晶の吸収係数を表わす。接合面の深さと外部発光強度との関係例は図4に示すとおりである⁽⁴⁾。これは電極を点接触形とした場合の測定例である。結晶の形状は一定であるので、外部光出力と I とは比例する。このグラフの右側の傾斜から p 層内の発光の吸収係数 α は、(3)式を用いて約 10^3 cm^{-1} と見積られる。この吸収に対しては d は小なるほどよいが、電子の拡散長程度まで小となると非発光性の表面再結合が影響して発光効率が低下する。また、電極は発光を遮(さえ)ぎるので接合面の一部にしか付けられないが、接合深さが浅過ぎると電流(したがって発光)は電極直下およびそのまわりに集中するため、発光強度の不均一を生ずるとともに外部への発光量は減少する(以上図4参照)。したがって最適深さが存在する。接合面の深さが 2μ の場合には、表面側への発光は結晶内表面に達するまでに 20% 程度吸収されるに過ぎないので、

直接光の p 層内での内部吸収という面からは外部効率はこれ以上たいて改善されないことがわかる。

2.2.2 電極の形状

接合面積に対する電極の大きさ、形状は、発光強度のほか、上記の発光強度の空間的な不均一性に大きな影響をもたらす。これは、電極から接合面への広がり抵抗により生ずる。表示素子として順次走査駆動方式で用いる場合のように、表示に必要な平均電流を、高い瞬時電流値をもって低いデューティ比で動作させる場合には特に重要となる。その様子を例示したのが図5である。この影響を少なくするためには、電極の形状をわく形にし、一つのわくを小形化するのが有利である。これは同時に、単位面積あたりの等価直列抵抗が減少するので、発光の応答特性が改善されることにもなる。また、単位の発光面積が小となるため接合からの放熱も良くなり、電流-輝度特性の直線性も、より高い輝度まで保たれることになる。これらから、表示画素の構造を微小画素の集合で表示する構造とするのが好ましいことがわかる。

2.2.3 表面の形状とコーティング

GaAs_{1-x}P_x 結晶の屈折率は 3.6 で、空気に対する臨界角は 16 度となり、結晶表面の形状が接合位置からみて平面とみなせる場合には、表面に達した光の 96% は内部に全反射される。内部に反射された光は、上記の大きな吸収係数のためほとんど結晶内で吸収される。表面の形状をすべての発光の結晶表面に対する入射角が臨界角以下となるようなドーム状とすれば、全反射は防げるが、接合面から表面までの距離は増大し、GaAs_{1-x}P_x 結晶の発光の場合は結晶の組成比が一樣である限り、上記吸収が大となりじゅうぶんな効果はあげられない。組成比を変えて窓効果を持たせ、結晶表面をドーム状とすることは可能であるが、生産性の面からは適さない。この内部反射の問題は、結晶表面を屈折率の大きい透明な媒質でコートすることにより大幅に改善される。媒質の形状はドーム状にすることにより、これと空気との界面での全反射を防ぐことができる。媒質にエポキシ系樹脂(屈折率 ~ 1.8)を用いると結晶からみた臨界角は約 30 度となり、全反射角およびフレネル反射率が改善されて、外部効率は約 4 倍に増加する計算となる。この媒質の屈折率を変えた場合のドーム状コーティングによる外部効率の改善の様子は図6に示すとおりである⁽⁵⁾。実際には、上記樹脂を用いた場合、樹脂内での吸収があること、接合面方向の出射光があること、臨界角付近の光は結晶内での光路が長く内

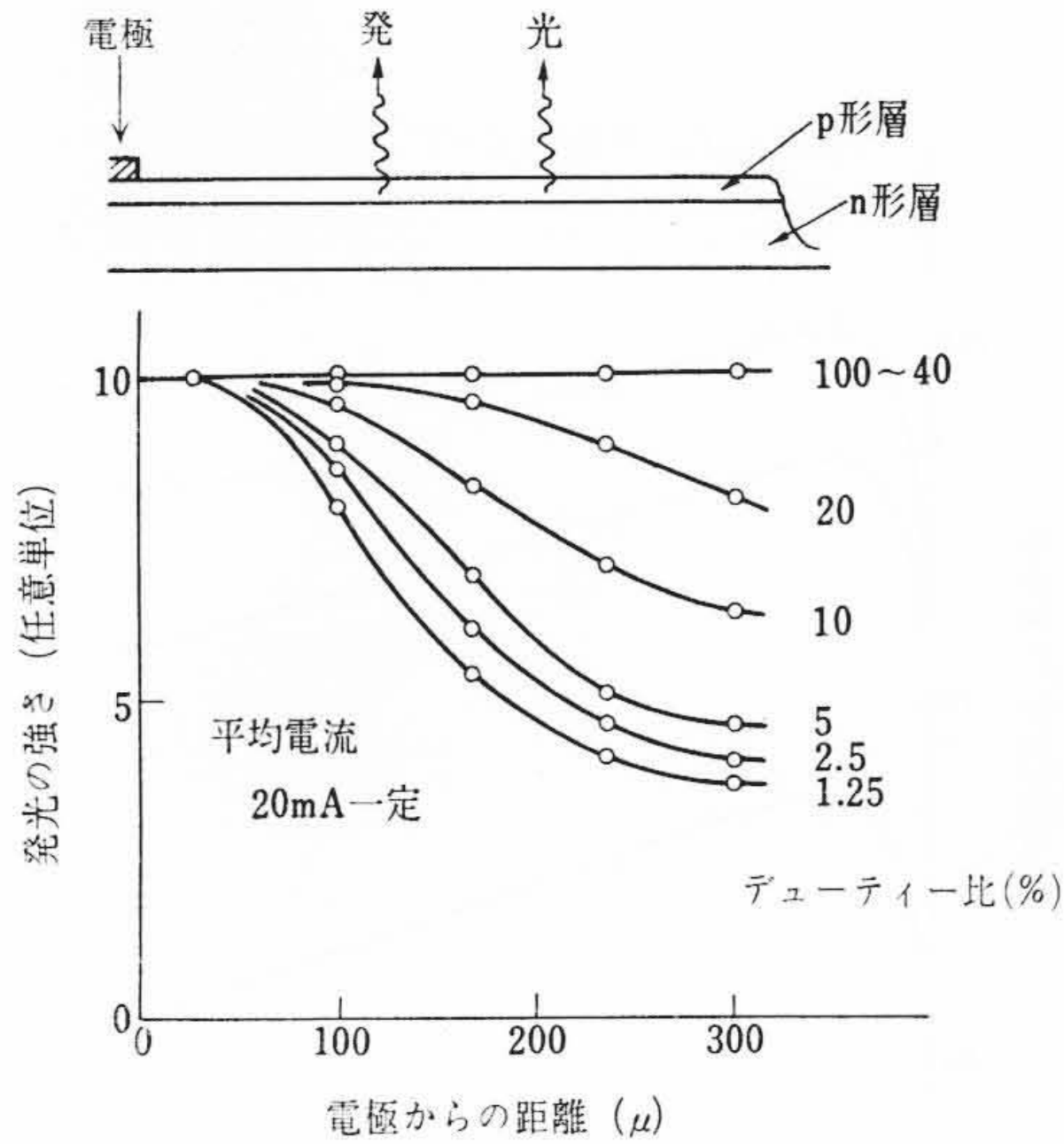


図5 パルス駆動時の発光の不均一化のおこる様子

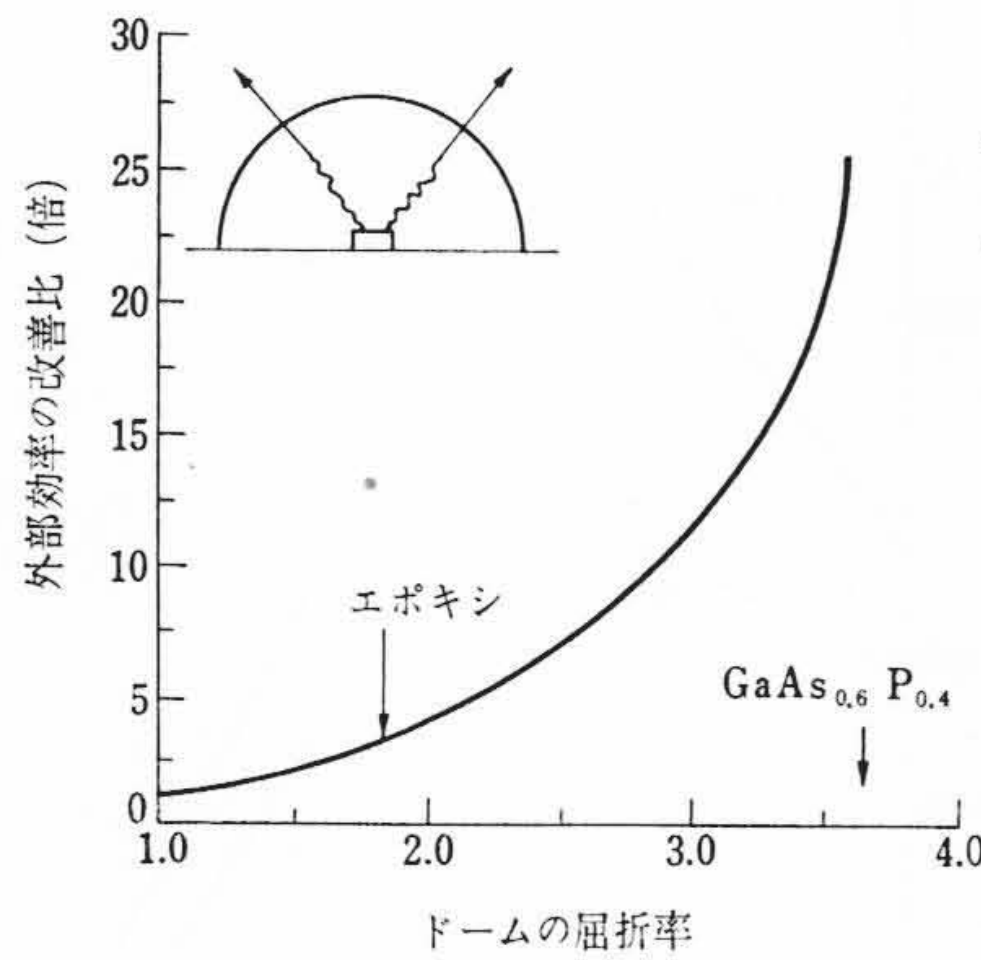


図6 コーティング材の屈折率と外部効率の改善比との関係⁽⁵⁾

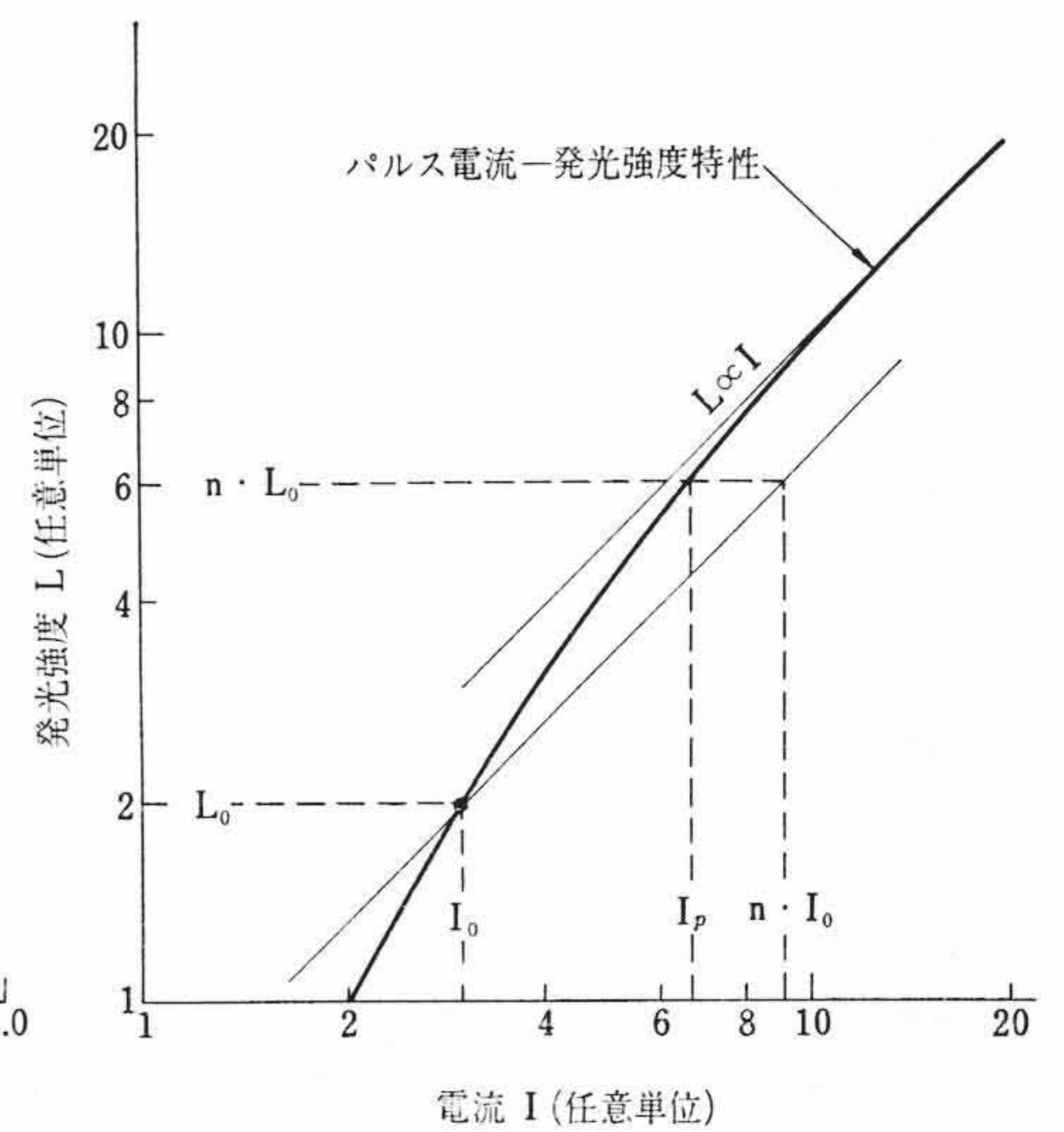


図7 $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$ ダイオードの電流-発光強度特性と $I_p < n \cdot I_0$ となる説明図

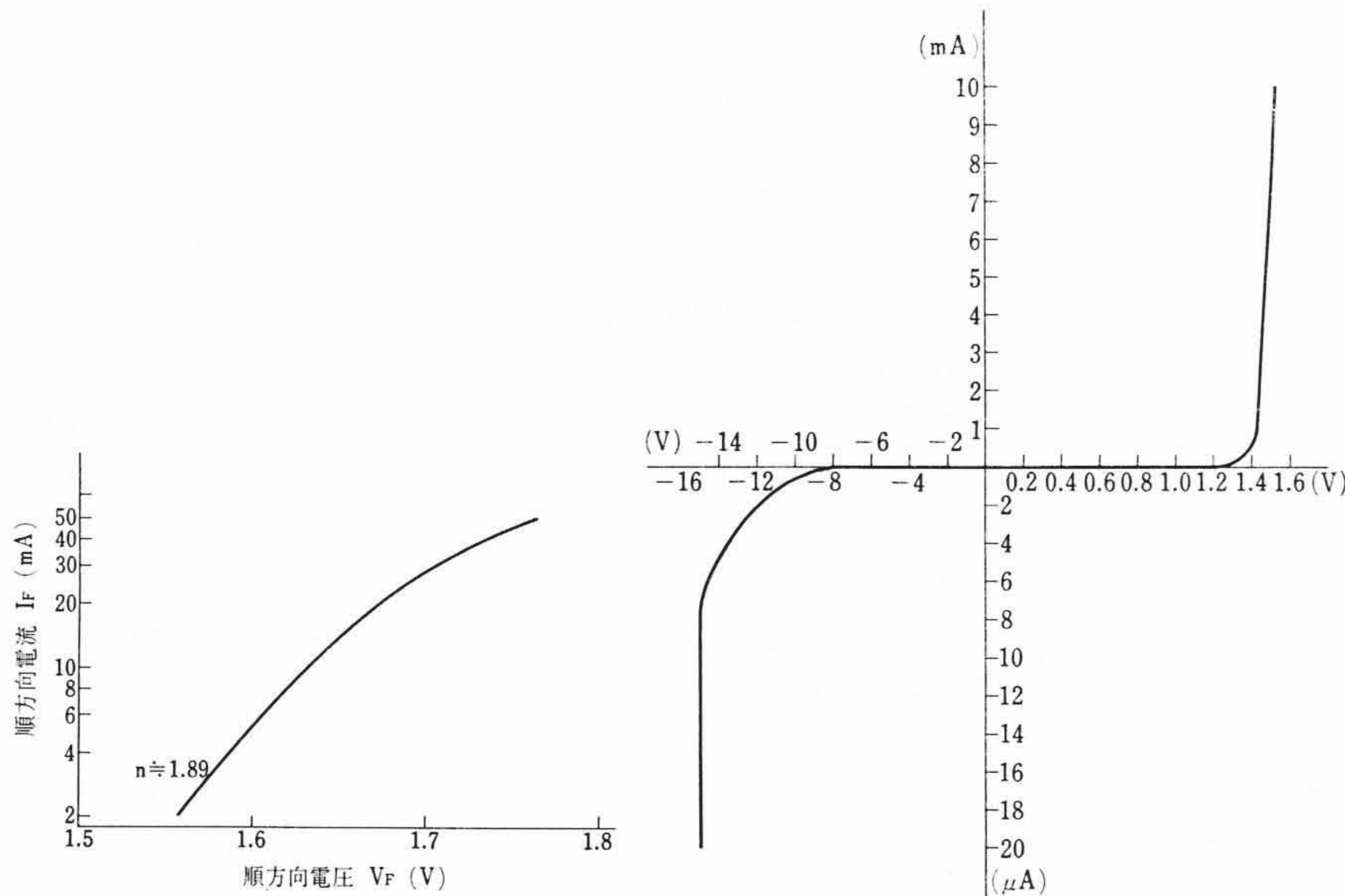


図8 順方向電圧電流

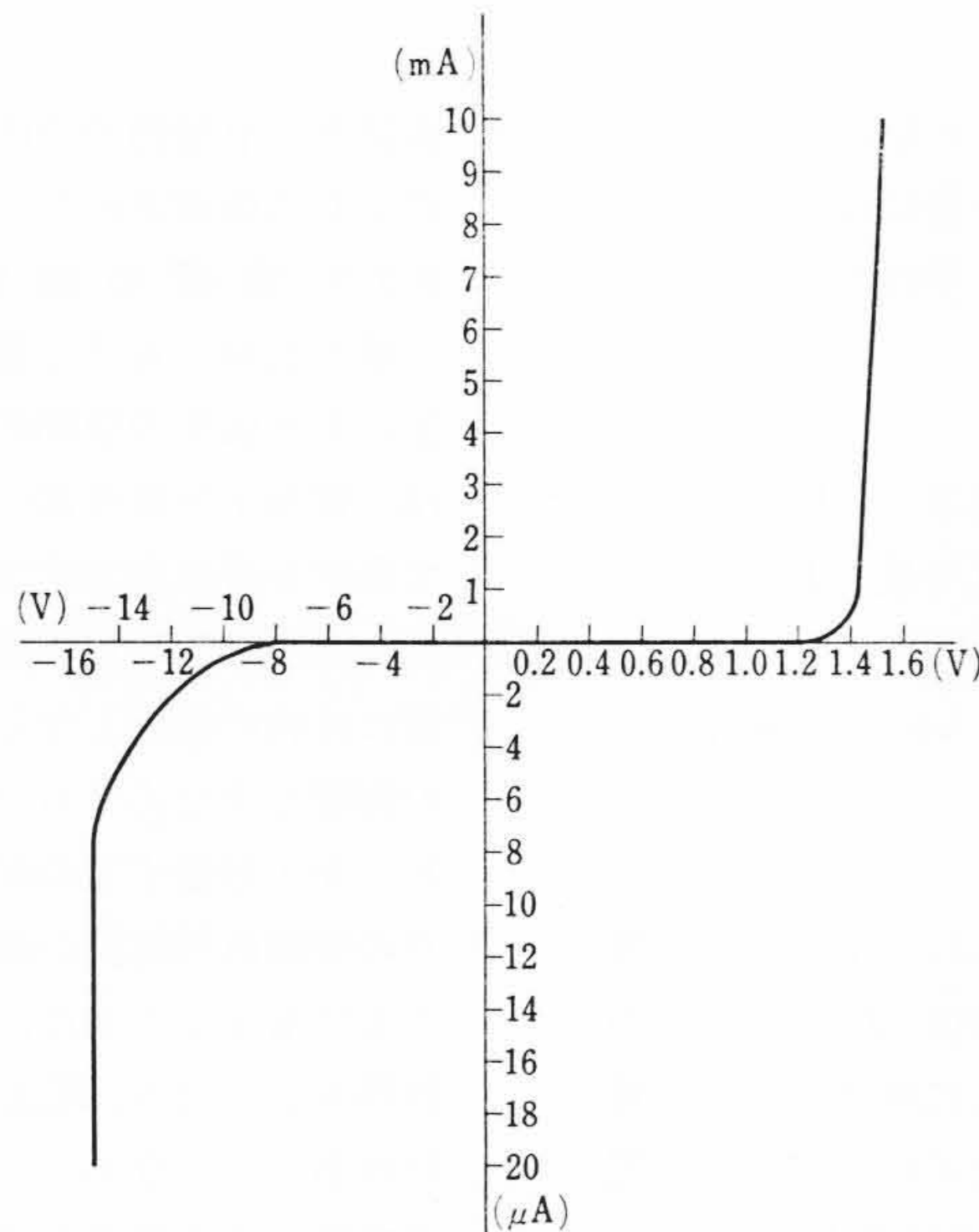


図9 順方向及び逆方向電流電圧特性

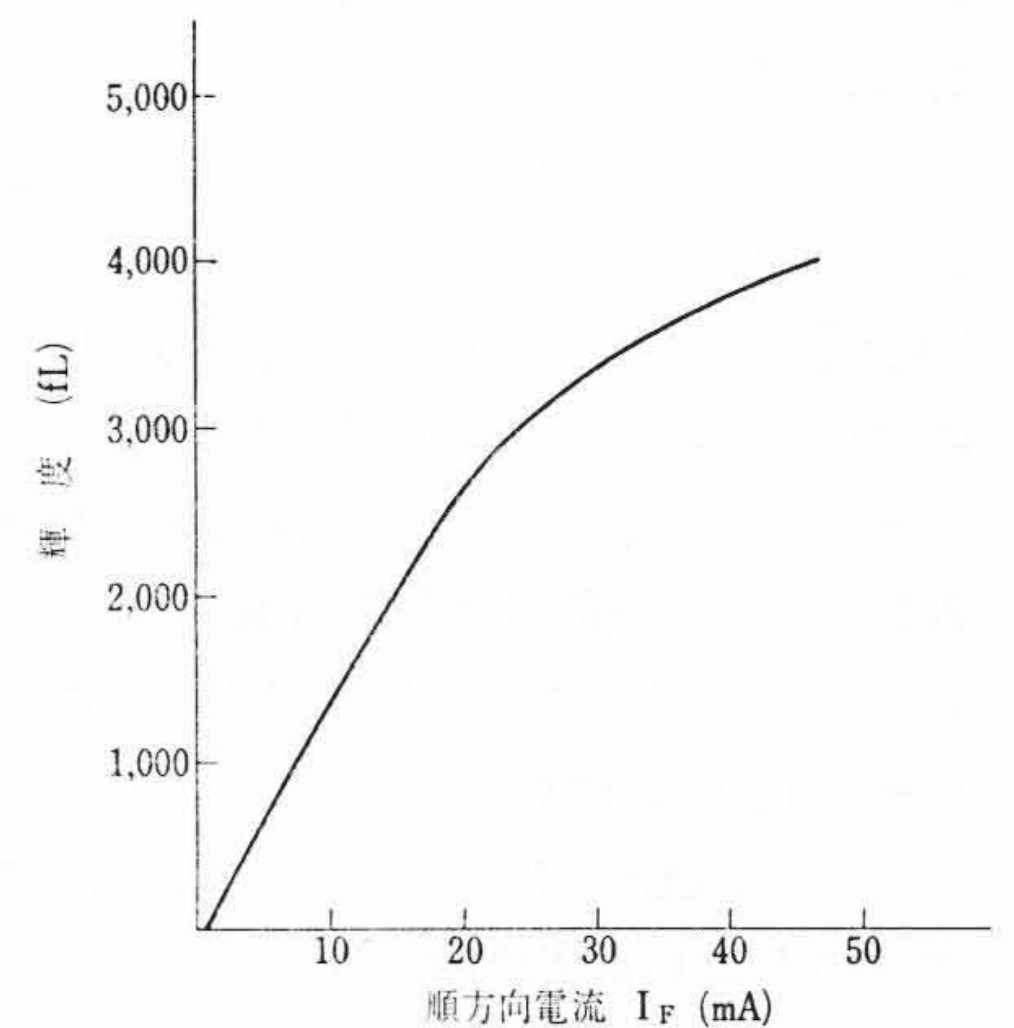


図10 輝度の順方向電流依存性

部吸収を多く受けることなどのために、外部効率は約2.5~2.7倍に増加する。このように、 $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$ 発光ダイオードにおけるコーティングは、単なる素子保護以上の、本質的な意味を有する。

2.3 製造条件と発光特性との関係

$\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$ ダイオードでは、順電流の大部分はいわゆる再結合電流成分であり、接合の空乏層内での深い準位を介しての非発光性再結合に費やされる。残りの拡散電流成分は、p層内で一部は発光性再結合により発光に寄与し、残りは非発光性再結合に費やされる。この非発光性再結合をもたらすものは、格子欠陥や深い準位を形成する不純物およびオージェ効果などである。どの格子欠陥や不純物が有害であるかは明確でないが、これらを極力少なくすることが高い発光効率を得るために必要となる。これには、結晶成長時に使用する容器材の純度や形状とその処理法の吟味、各種ガス系の純化、反応系内の温度、ガスの流量、系内の過飽和度、成長速度などの最適化、GaAs基板から $\text{GaAs}_{1-x}\text{P}_x$ 結晶の発光の起こる部分までの間の組成変化の処理などが重要で、これらが発光効率に決定的な結果をもたらすものである。

空乏層内での再結合量を減少させるには、上記のほか、空乏層の厚みを薄くするのが好ましい。このためには、ドナーおよびアクセ

プタ密度は高いほうがよい。またp層に効率良く電子が注入されるためにはドナー密度はアクセプタ密度に比べ、より高いほうがよい。しかし、ドーパ量を増すと、それに伴い発生する格子欠陥が増大する。また、自由電子や正孔の密度が増すと、オージェ効果による非発光性再結合の確率が増す。このため、発光効率はドナーやアクセプタ密度、接合付近のプロファイルにも依存する。Zn拡散法によるダイオードでは、ドナー密度は $10^{16} \sim 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ が最適範囲となる⁽²⁾。また、拡散においてはそのプロファイルが結晶表面はp⁺層となり、接合付近では必要最少限のZn密度となることが好ましい。

2.4 動作条件と発光特性との関係

2.4.1 直流動作とパルス動作

上記のように、発光強度 L は拡散電流成分 I_d に比例する。一方、順電流 I は、 I_d と再結合電流成分 I_{rg} との和からなる。これらは、順電圧 V に対して近似的に、

$$I = I_d + I_{rg} = A \cdot \exp\left[\frac{e(V - V_0)}{kT}\right] + B \cdot \exp\left[\frac{e(V - V_0)}{2kT}\right] \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$L = C \cdot \exp\left[\frac{e(V - V_0)}{kT}\right] \propto I_d \quad \dots\dots\dots (5)$$

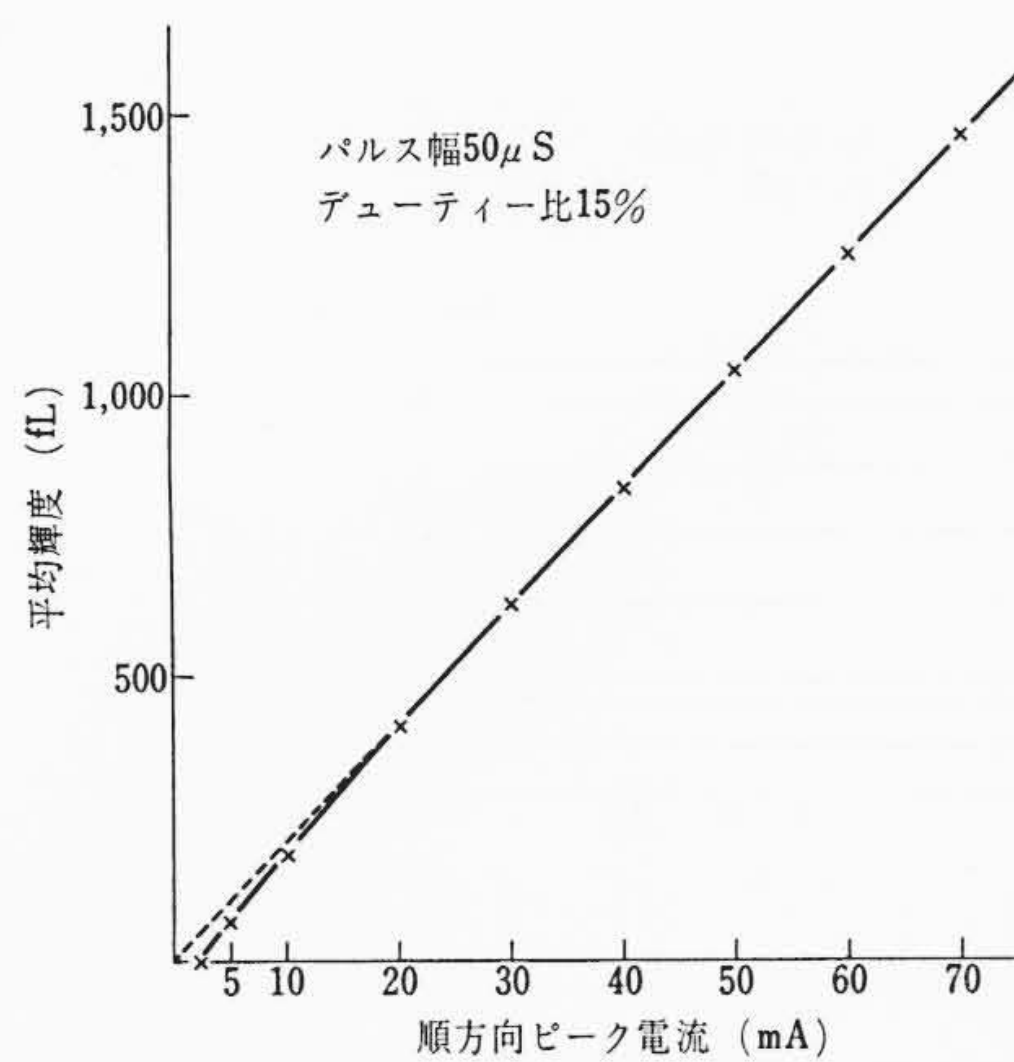
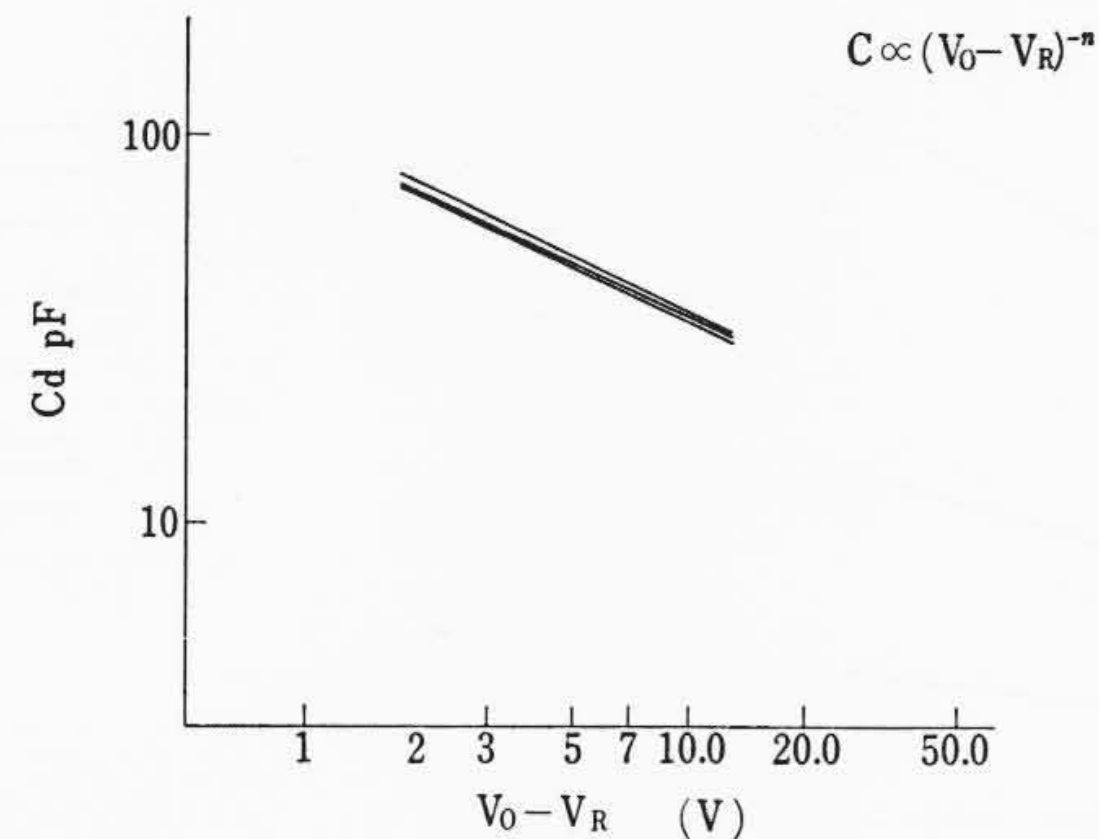


図11 電流輝度特性 (パルス駆動の場合)

図12 ダイオード容量の逆バイアス電圧依存性 ($f=1\text{ MHz}$)

なる依存性を持つ。ここで、 V_0 は拡散電位差、 k はボルツマン定数、 T は絶対温度、 e は電子電荷の大きさ、 A, B, C は近似的に定数である。放熱特性から許容される通常の直流動作の電流密度範囲 ($\sim 10\text{ A/cm}^2$) では、 $I_{rg} \gg I_d$ となっている。しかし、(4)式からわかるように、大電流動作域 ($V - V_0$ が大) になると I_d の割合が増えて $I_d \gg I_{rg}$ となり、発熱による温度上昇を避ければ発光強度は電流 I に比例するに至る。すなわち、小電流域では $L \propto I^2$ 、大電流域では $L \propto I$ となる。したがって、ある一定の平均輝度で表示する場合には、デューティ比のより低いパルスで動作させるほうが平均電流は小さくて済む。その説明は図7に示される。すなわち、デューティ比 $1/n$ で動作させる場合には、その平均輝度 L_0 と同じ輝度を得るに必要な直流電流値を I_0 とすると、必要な瞬間輝度 $n \cdot L_0$ を得るに必要なパルス電流値は、 $n \cdot I_0$ よりも小さい I_p ですむ。GaAs_{1-x}P_x 発光ダイオードの発光は、発光の機構上からは発光強度が飽和することがなく、発光の応答も速いので、周波数 200~300 MHz、瞬間輝度数万 fL に至るまで、このパルス駆動表示ができる⁽⁶⁾⁽⁷⁾。

2.4.2 温度

(4)式に示されるように、温度が上昇すると I に占める I_d の割合は減少する。また、p層内での非発光性遷移の確率も増す。したがって発光強度は低下する。その具体的特性は次章に述べる。

3. 具体的特性

3.1 電圧電流特性

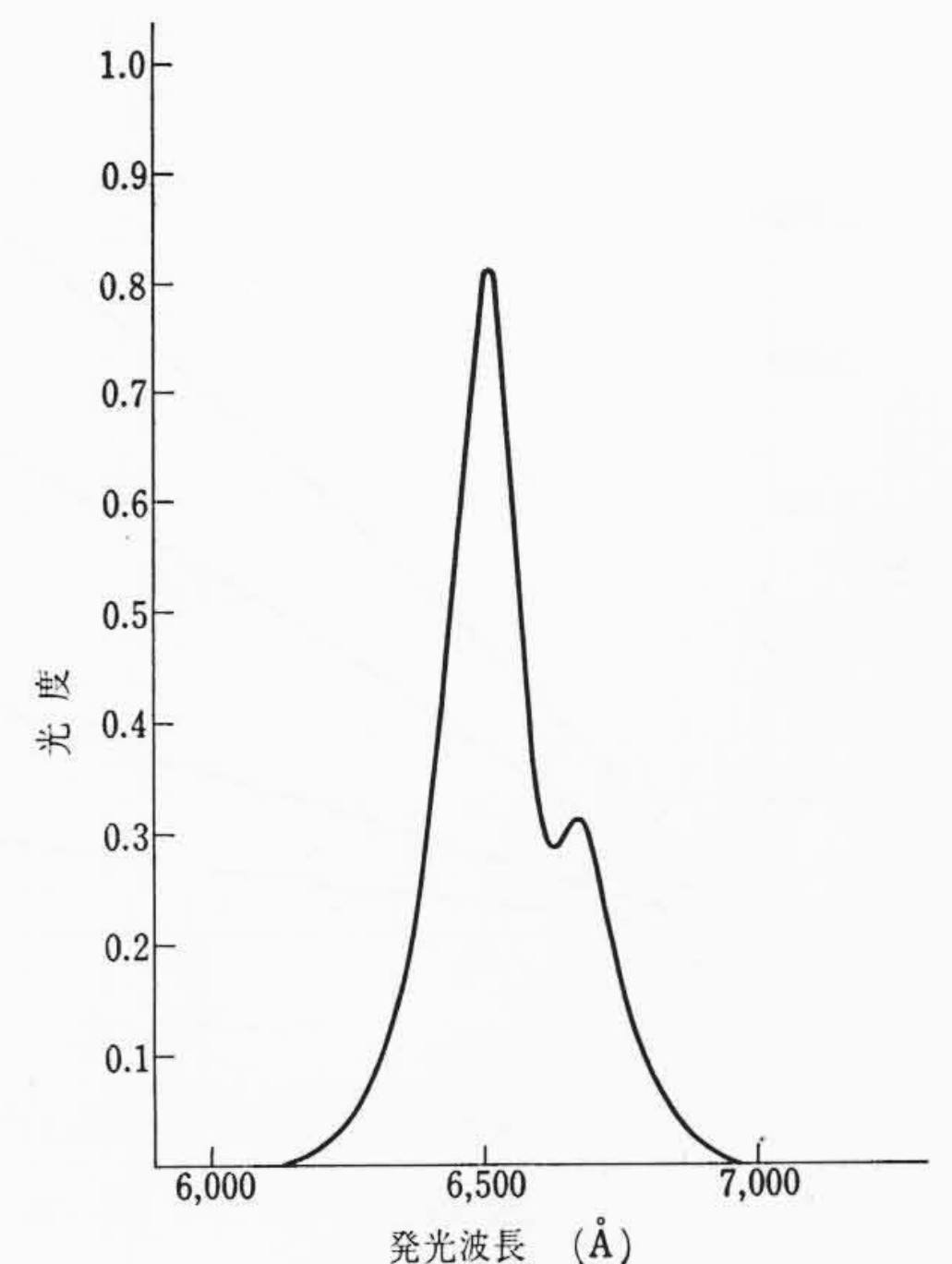
順方向電圧電流特性は一般小信号ダイオードと同じで、順方向電流 I_F と順方向電圧 V_F との関係は

$$I_F \propto \exp \frac{q V_F}{n k T} \quad \dots\dots\dots (6)$$

で示される。図8は、日立製作所で開発された発光ダイオードの順方向電圧-電流特性例を示したものである。 $I_F \leq 5\text{ mA}$ のときは(6)式にあてはめて算出すると $n \approx 1.89$ であり電流の大部分が再結合成分で、発光に寄与する拡散電流成分の小さいことが示されている(一般にバンド・ギャップ幅の広いGaPでも同様である)。とくに 15 mA 以上の電流を流すと直列抵抗の影響でさらに効率が下がることが示されている。図9は順方向と逆方向の電圧電流特性を示したものである。

3.2 電流-輝度特性

日立製作所で開発した発光ダイオード HE1102 の輝度は電流に対して直線的に変化する部分とそうでない部分に分けられる。順方向に 1 mA 程度通電すると肉眼でも発光が確認され、以後 10 mA 程度までは電流に対してほぼ直線的に輝度は上がる。一般に全光束 L

図13 波長特性 ($T=300\cdot\text{K}$)

と順方向電圧 V_F との関係は

$$L \propto \exp \frac{q V_F}{n k T} \quad \dots\dots\dots (7)$$

で表わされ、電流密度の小さいうちは n は 1 に近いが、電流密度が増加し発熱の影響をうけるようになると n は大きくなってきて効率は低下する。また順方向電流と順方向電圧の関係は(6)式に示したとおりであるから、輝度すなわち単位面積あたりの光束数は電流密度に比例する。ただし小電流域では $L \propto I^2$ の関係に近い。図10は HE1102 の輝度と順方向電流との関係を示したものである。図では順方向電流 15 mA ないし 20 mA 程度までは、この関係を保っているがそれ以上の電流値になると比例しなくなる。特に 25 mA 以上では発熱のためにその傾向が著しい。これは前にも述べたように直列抵抗の影響が大きくなるためである。パルス動作することにより発熱の影響を低下させれば電流と輝度の比例する領域は広がる(図11参照)。

3.3 ダイオード容量-逆方向電圧特性

ダイオード容量は、パルス駆動するときに問題となるターン・オン時間やターン・オフ時間を決定する因子となる。またこの逆方向電圧依存性から接合の状態を推察することもできる。ダイオード容量 C_d と逆方向電圧 V_R との関係は

$$C_d \propto (V_0 - V_R)^{-\frac{1}{n}}$$

で表わされる。図12は、ダイオード容量の逆バイアス電圧依存性を調べたもので、これから n を求めると $n=2.10\sim 2.15$ となる。ただし図中の V_0 はビルトイン電圧と呼ばれ、ダイオードの立上り電圧に相当する 1.65 V を用いてある。この $n \approx 2.1$ という値から接合が階段性であることがわかる。

3.4 発光波長

発光ダイオードの発光波長 $\lambda(\text{\AA})$ は、バンド・ギャップ $E_g(\text{eV})$ によって決まり

$$\lambda = \frac{1.2395}{E_g} \times 10^4$$

で表わされる。GaAs_{1-x}P_x 形のダイオードでは $E_g=2.0\sim 1.4\text{ eV}$ であり、 $\lambda=6100\text{\AA}\sim 9000\text{\AA}$ にとることができる。

HE1102 の場合は $E_g=1.90\text{ eV}$ 程度で、発光波長は 6,500 Å 程度である。図13は特性例を示したものである。山が二つあるのは接合面の深さが浅い場合に現われるもので、接合面の深さが大きくなるにつれて、短波長側の発光は内部吸収のために相対的に減少して

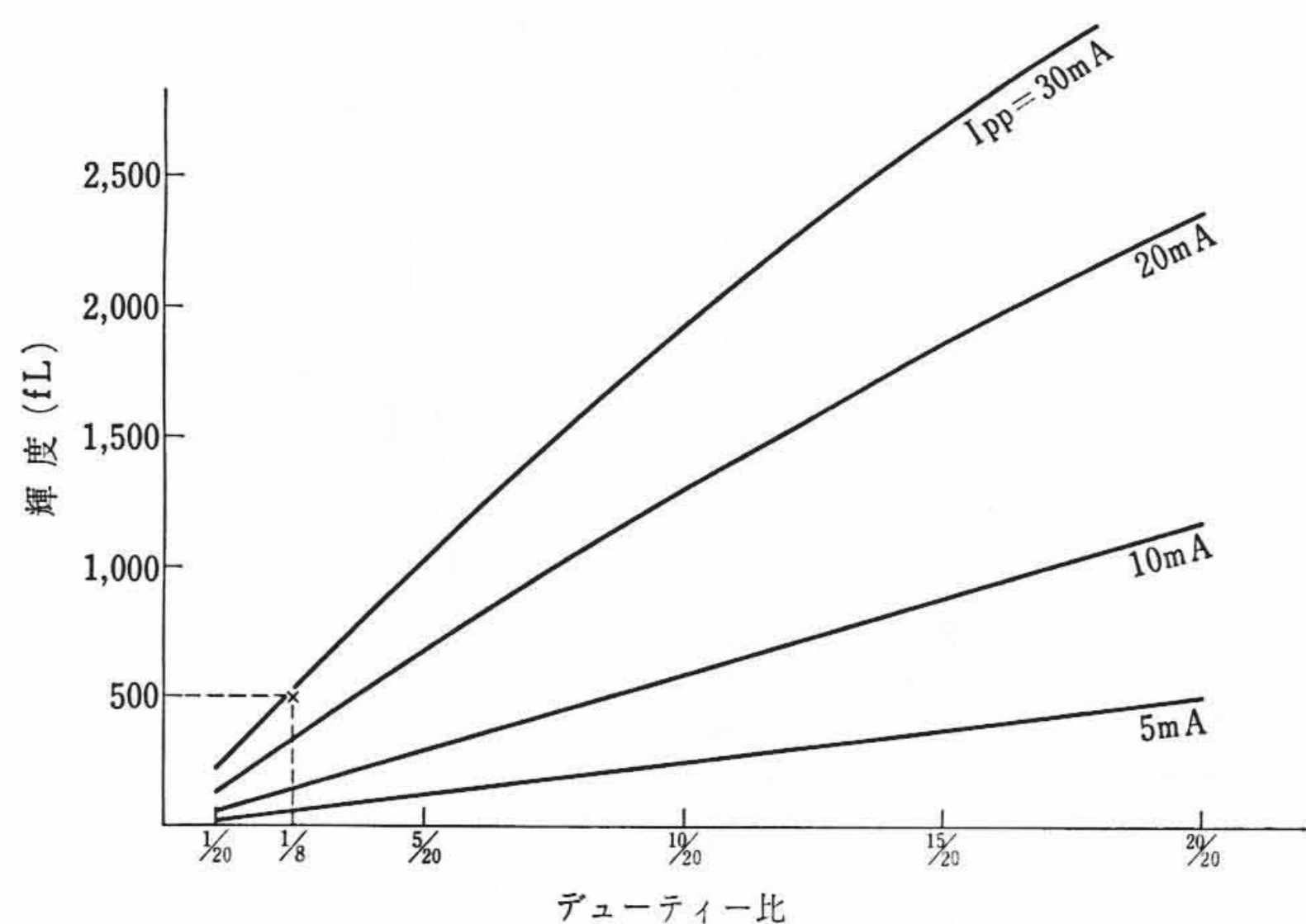
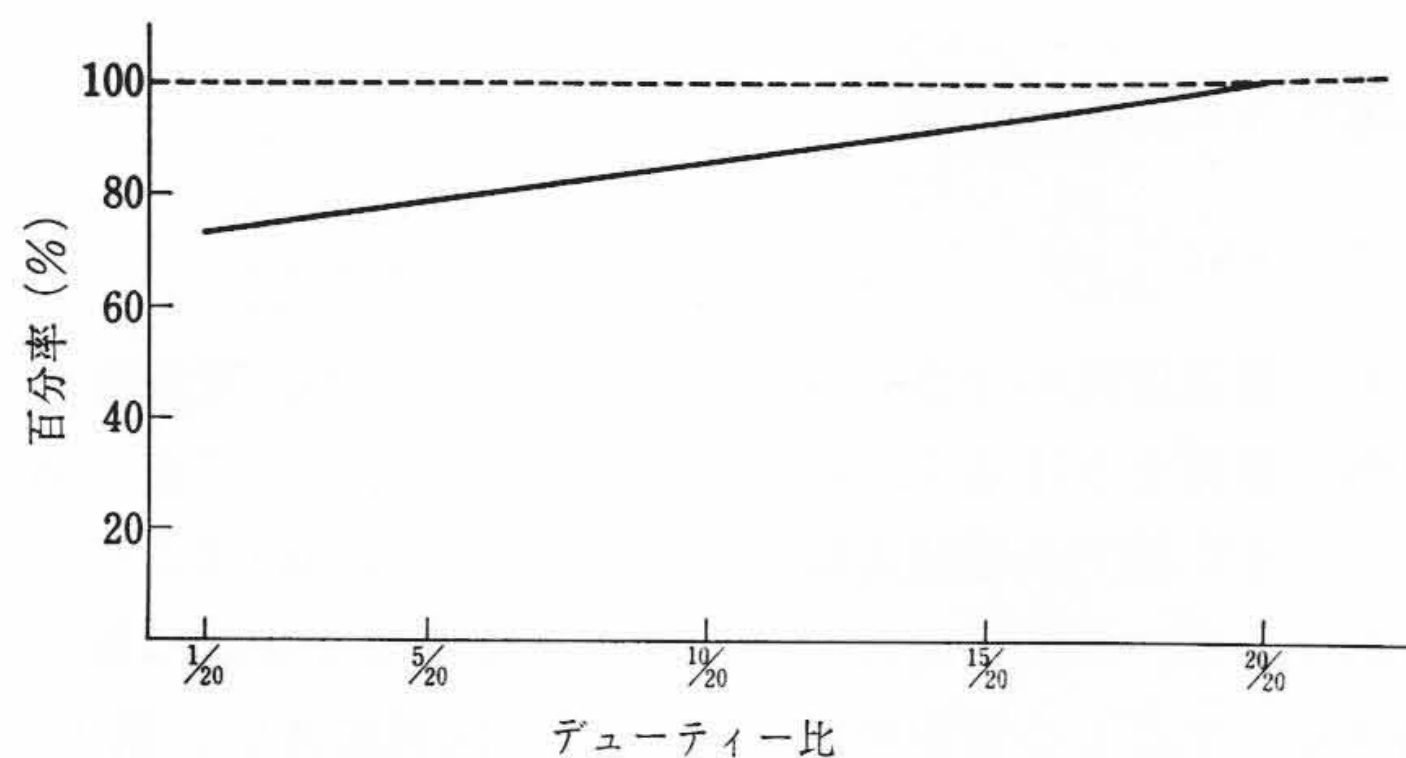
デューティ比と輝度の関係 ($f=6\text{kHz}$)

図 14 パルス発光特性



(デューティ比と消費電力との関係)

図 15 パルス発光特性

いくことが確認されている。外部発光出力と接合面の表面からの深さとの関係から、最適接合面深さは $1\sim 4\mu$ 程度のとき効率が最もよいとされている。このとき短波長側の発光が圧倒的となる。

3.5 応答速度

HE1102 の立上り時間は数ナノ秒である。この時間を実質的に定めているものは先に述べたダイオードの接合容量と、伝送線のインピーダンスおよびダイオードの広がり抵抗である。 C_a は 70pF 程度である。また、ダイオードの広がり抵抗と伝送線のインピーダンスとの和は 50Ω 程度であるので

$$70 \times 10^{-12} \times 50 = 3.5 \times 10^{-9} \quad (=3.5\text{ ns})$$

となり 3.5 ns の時定数を持つ。とくに低電流で駆動しようとするときは接合容量を充電するために遅延時間は長くなる。

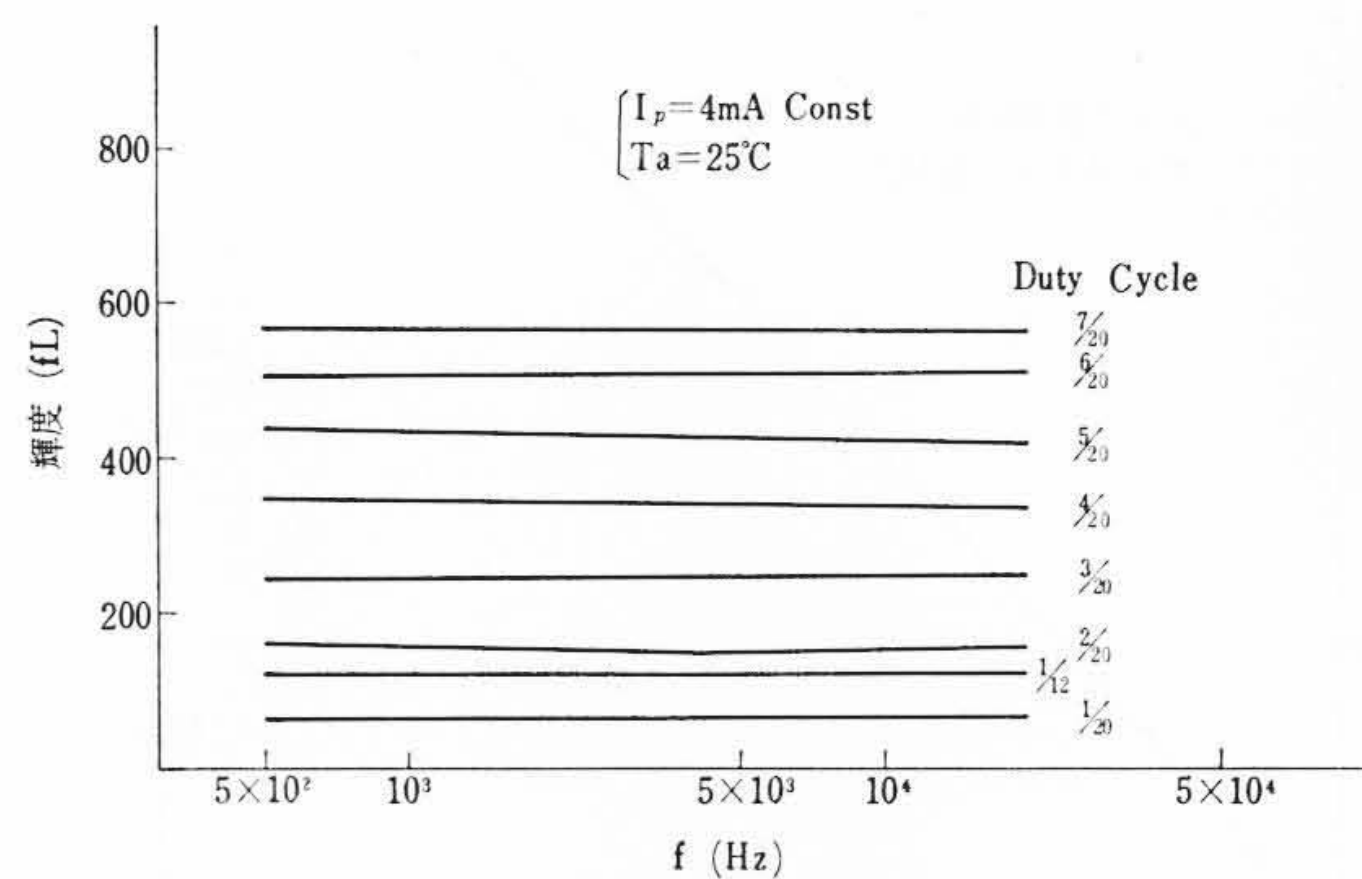
3.6 効率

GaAsP 発光ダイオードの効率は 0.5% 程度であるが、GaP の赤と比べ発光波長が視感度の高いほうにずれており、視感度上は GaP 発光素子の 3 倍程度になっている。したがって実質的に効率 1.5% 程度の GaP 発光素子の輝度に相当する。

3.7 パルス発光特性

図 14 は素子をパルス点灯した場合のデューティ比と輝度との関係を調べた結果で、横軸にデューティ比、縦軸に輝度を取り矩(く)形波のピーク電流値を 5mA , 10mA , 20mA , 30mA と変えて調べてある。ただし輝度は時間平均輝度であり、測定にはフォト・セルを使用し全光束をフォト・セルの出力電圧に変換し測定した結果にあらかじめ算出された定数を剰じて輝度を算出している。

この図からわかるように、パルス駆動する場合直流の任意の電流値で発光させたと同等の輝度を得るには平均電流は直流点灯の電流



(繰返周波数依存性)

図 16 パルス発光特性

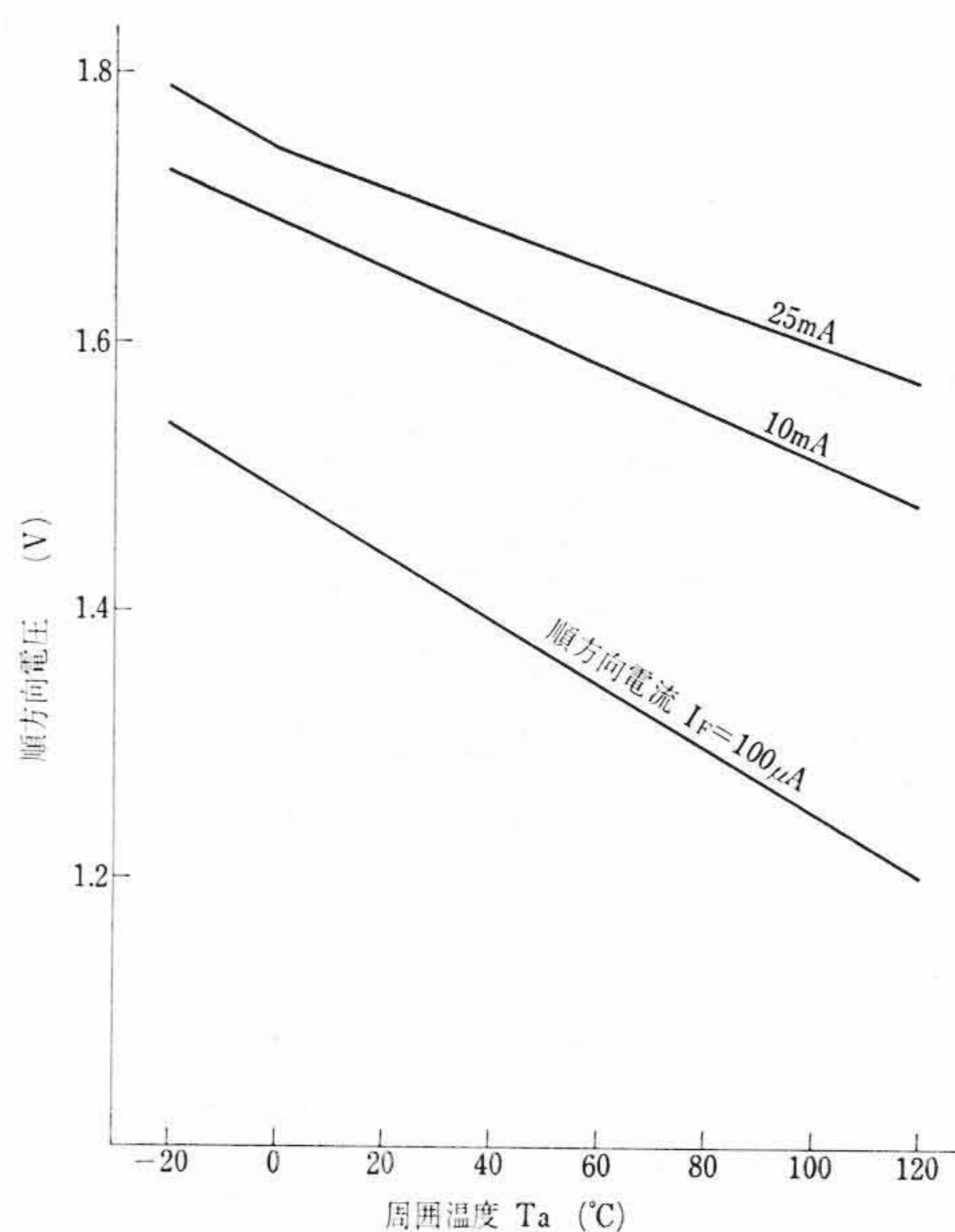


図 17 順方向電圧と周囲温度との関係

値以下ですむ。たとえば、図で直流 5mA (デューティ $20/20$ $I_{FP} = 5\text{mA}$) で点灯した場合の輝度は、 500 fL であるが、今 $1/8$ デューティでパルス駆動した場合には、その動作電流 I_{FP} は 30mA 弱で 500 fL の平均輝度を得られることが示されている。この場合平均電流は $1/8 \times 30 = 3.75\text{ mA}$ となり、直流点灯よりも平均電流値は小さくて済むことになる。この現象は肉眼でも明確な差異として観察されている。この現象を平均消費電力との関係で表わしたのが図 15 である。同じ輝度を得るのにデューティ比が下がるとともにピーク電流値は上げなければならないが、平均消費電力は低下していくことがわかる。このことは乾電池のような小容量電源を使用して点灯するときに、パルス駆動のほうが有利になることを示している。

パルス駆動の場合、平均輝度を一定に保つためにはデューティ比が下がるとともに、瞬間輝度を上げなければならないが、したがってピーク電流密度も大きくする必要がある。HE1102 の場合、接合面積が小さく (0.09 mm^2)、大電流密度領域まで発熱による温度上昇が無視できるので、ピーク電流 40 mA パルス幅 $50\mu\text{s}$ 、デューティ比 5% (繰返し周波数 20 kHz 、デューティ比 $1/20$) 程度のパルス走査駆動では必要じゅうぶんな特性を持つことが確認されている。

3.8 パルス走査駆動の周波数依存性

図 16 はピーク電流を一定にし、デューティ比と繰返周波数および輝度の関係を示したものである。これによると、デューティ比が一定の場合繰返周波数が高くなっても平均輝度はほとんど変化していない。

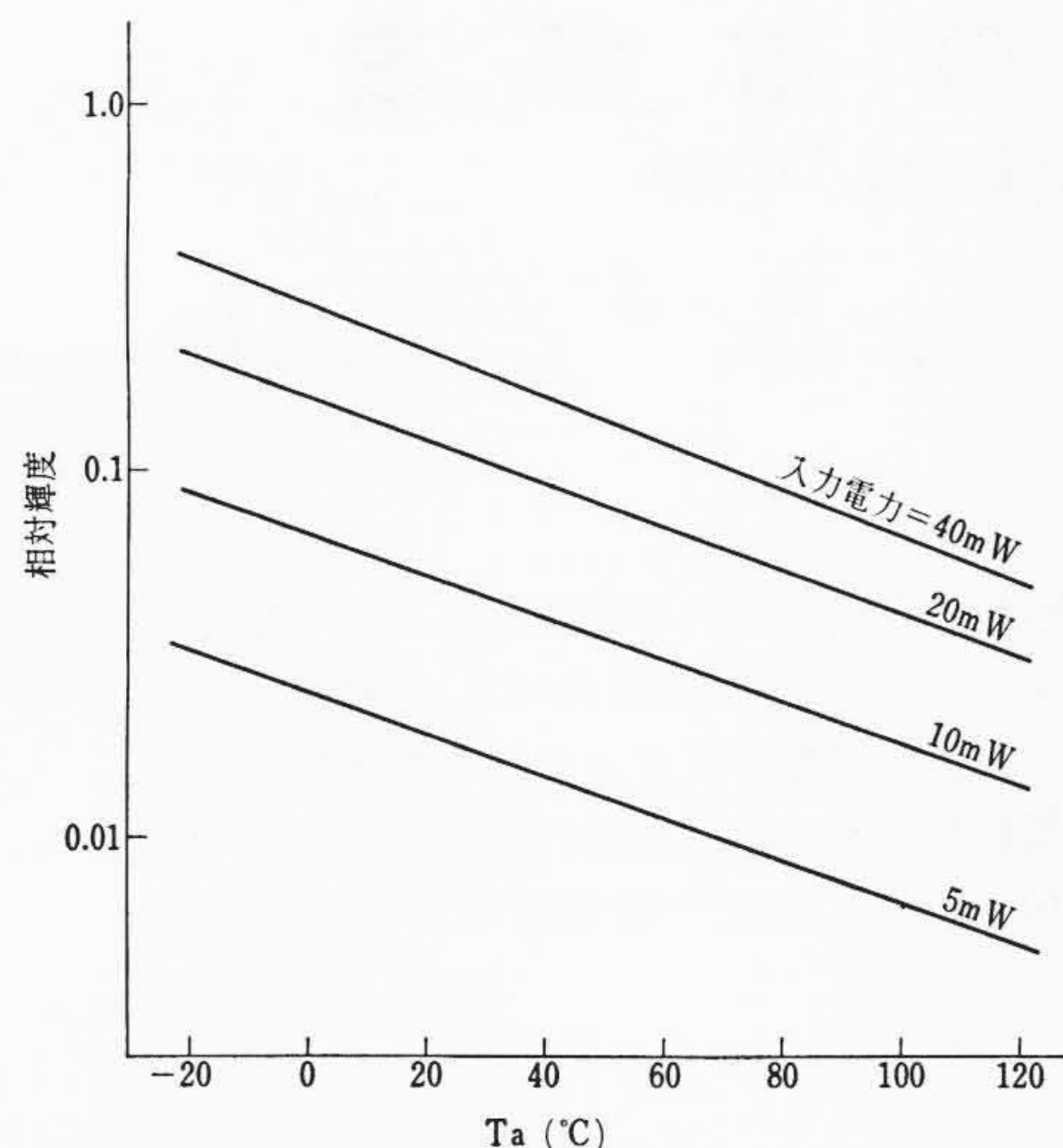


図18 輝度の温度依存性

3.9 温度特性

図17は順方向電圧の温度依存性を示したもので10mA程度の電流レベルで約1.7mV/°Cの温度こう配を持っている。

図18は輝度の温度依存性を示したもので、入力電力の多少にかかわらず約0.74%/°Cなる温度こう配を持っている。これは注入キャリアのうち非発光の再結合の割合が温度上昇とともに増加するためである。この理由は2.に説明されている。

3.10 角度特性

輝度は結晶の表面形状により大きく影響を受けることについては前記のとおりであるが問題はこれだけではなく、外部モールドの形状が大きく影響する。レンズ状をした樹脂の表面に傷があると、そこで乱反射して見掛け輝度が低下した形となる。図19はHE1102の等輝度曲線の例である。中心部よりも少しずれた部分に輝度のピークがあるのは、レンズ表面の凹凸(おうとつ)の影響と考えられる。この曲線はレンズの形状やレンズに光の拡散剤がはいっているか否かにより大きく変わる。

4. 応 用

GaAs_{1-x}P_x 発光素子は小電力駆動が可能、低電圧駆動が可能、小形である、応答特性が良い、信頼度が高いなどの利点があるのでいろいろの分野で使われようとしている。

4.1 インジケータ

各種の計測器や家庭電気機器の受電表示、通電表示に利用する。また受信機と同調完了表示や時計の秒針代わりにも使える。

4.2 文字表示

点発光素子をマトリクス状に並べて、このうちから選択駆動して

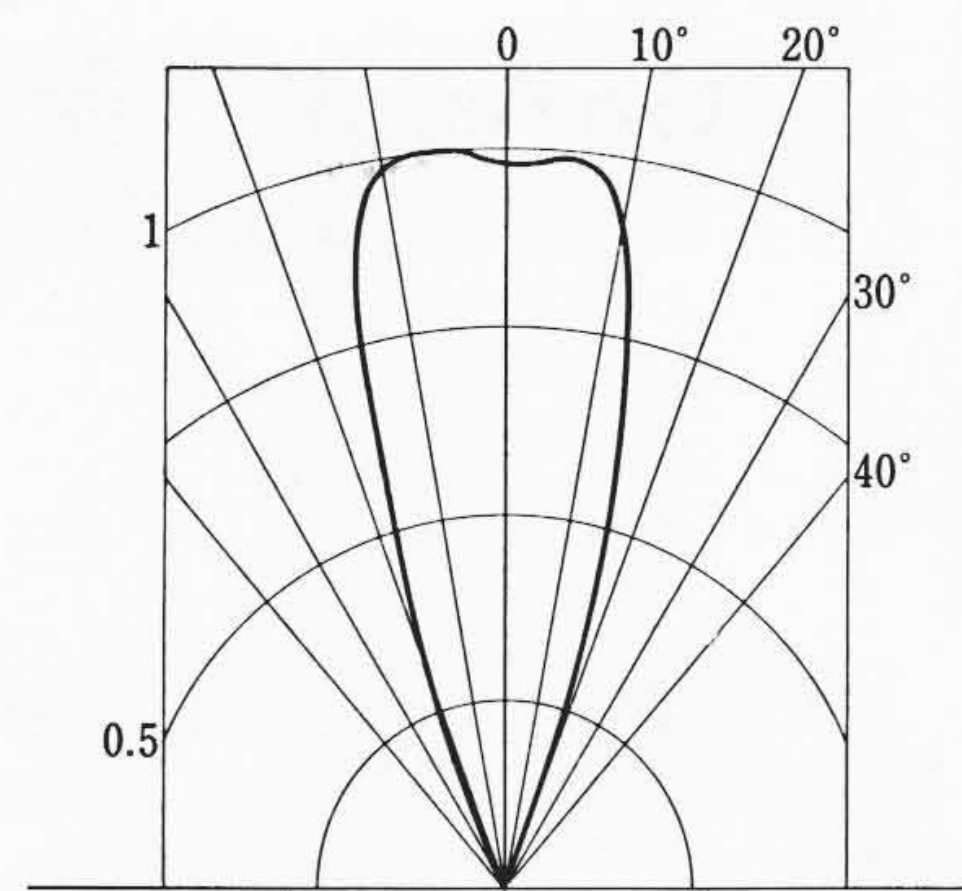


図19 等輝度曲線

数字やアルファベットなどの文字を表示したり、セグメント形の文字表示(数字だけの場合が多い)素子を使って文字を表示することが行なわれている。これらの文字表示素子は卓上電子計算機、各種計測器のデジタル表示、時計の時刻表示などに使われ始めており、さらにラインプリンタの光源としても応用できるであろう。そのほかにはカードリーダーの光源や航空機の制御パネルなど今後大量に利用されるであろう分野も数多く考えられる。

5. 結 言

GaAs_{1-x}P_x 発光素子は、組成比 x が0.4のとき発光波長は6,500~6,600Åとなり、視感度を考慮した輝度が最大になる。また、単位の発光面積が小なる構造にすると、電流-輝度特性の直線性およびパルス応答特性などが良くなるので、パルス電流による駆動が有利になる。

表示用としてパルス電流により点灯した場合、直流点灯したときより小さい平均電流で足りるので、低消費電力という特長をいっそう生かすことができる。したがって、IC使用機器の表示素子として非常に有望である。

参 考 文 献

- (1) たとえば、M. Gershenzon: Radiative Recombination in the III-V Compounds (Semiconductors and Semimetals, ed. by R.K. Willardson and A.C. Beer, Vol. 2, p. 289, Academic Press, 1966) を参照されたい。
- (2) 類似の報告は多いが、たとえば、A. H. Herzog, W. O. Groves and M. G. Craford: J. Appl. Phys. 40, 1830 (March, 1969)
- (3) 塚田, 梅田: 昭和45年度電気四学会連合大会予稿 p.2111
- (4) 塚田, 梅田, 中村, 中田: 昭和44年度電気四学会連合大会予稿 p.828
- (5) C. J. Nuese, J. J. Tietjen, J. J. Gannon and H. P. Gessenberger: J. Electrochem. Soc. 116, 249 (Feb., 1969)
- (6) 中村, 梅田, 塚田, 中田: 昭和45年度電気四学会連合大会予稿 p.2112
- (7) 中田, 梅田, 安達: 電子材料 9, 121 (昭45-3)