

7-1 高効率 GaP 赤色発光ダイオード

東芝 総研 若松信之, 前田敬二, 外山正春
笠見昭信, 内藤 誠

p型基板上にn層を液相エピタキシャル成長させて作る GaP 赤色発光ダイオードの高効率化を目標とした研究によってえられた結果および発光効率, 将来の見通しについて報告する。

I. ダイオードの製造条件

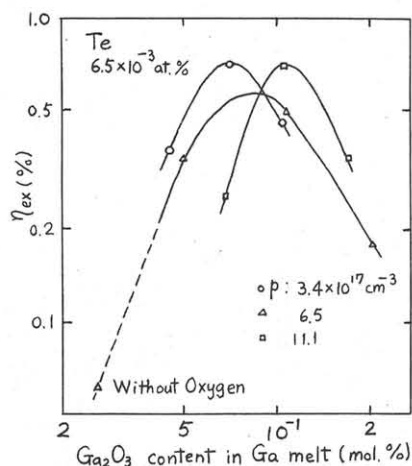
高効率発光ダイオードを再現性よく作るためにはn層の成長条件の制御が重要である。発光領域はjunction近傍の 1μ 程度であり, こゝでの発光中心(Zn-O最近接対)濃度は製造条件によって大きく変化する。われわれは (1) p型基板表面の solution etch, (2) n型成長層への酸素の添加, (3) 基板結晶の(111)P面上へのn層の成長の3条件の制御によって coating なして外部発光量子効率2.7%の赤色発光ダイオードを作ることができた。

<solution etching> epitaxial 成長を開始する迄の高温保持時間中に基板表面の optical quality が劣化する。1100°C, 30分の熱処理によりp型結晶の photoluminescence (PL) 効率 η_{PL} の劣化は, P面がGa面に比べて著しく, その深さは40~50 μ に達する。これはZnの out-diffusionにより Zn-O 中心濃度が減少したためと考えられる。この劣化層は除去する必要がある。実際, epitaxy soln.中のGaPの不飽和度, tipping してから cooling 開始迄の保持時間により etching 量を制御し, P面上の成長の際に充分 etching した場合(約60 μ)には発光効率が約2倍改善された。

<n層中への酸素添加> n型成長層中への酸素添加は従来報告されていないが, われわれはこれによって発光効率 η_{EL} を大幅に向上させると共に試料の特性の分散を非常に少なくすることができた。(第1図) 最適酸素添加量はn層中のTe添加量が多くなると少くなり, p型基板中のZn濃度の増加と共に多くなる。これらの結果はn成長層中へのZnの out-diffusion により接合が成長層にでき, さらに接合近傍でのZnの濃度分布はn層中のドナー濃度によって変り, 発光中心濃度もそれによって影響されるとするモデルで説明できる。

<基板結晶面> epitaxial 成長の際に(111)Ga, (111)P面のいずれが高効率となるかについては従来報告されていない。われわれは上述の改善

により試料の再現性を良くして面の優劣の比較検討を可能にした。第2図には epitaxy soln.中の酸素添加量を一定にし, Te添加量に対して η_{EL} および発光強度 L (1.65V)を示してある。 η_{EL} および L が最大になるTe添加量は面によって異なる。こ



第 1 図

れはP面の方がTeドナーを取り込み易いためと
考えられる。Lの最大値はP面が大きく、電流
を少なくすることによって η_{EL} を大きくすること
が出来た。

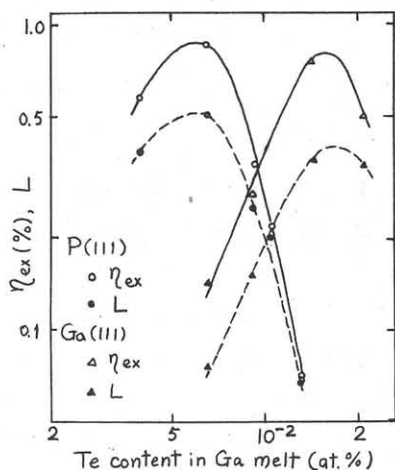
II. ダイオードの特性解析

発光ダイオードの内部効率には少数キャリア
の寿命 τ_n および発光領域内の発光中心濃度 N_R
が直接に関係する。Ar⁺レーザー 5145Å光による
ダイオード光電流の絶対値の測定から求めた τ_n
の値は $10^{-8} \sim 10^{-9}$ secであり、 n 層中のドナー濃
度には大きく影響されない。一方、 N_R はダイオ
ード光電流の刺激スペクトルで5850Å附近に見
出された特性ピークの強度から始めて求めるこ
とが出来た。この特性ピークは発光中心での吸収によつて作られたexcitonの一部
が熱分解して生じた伝導電子によるものである。この刺激帯は酸素をドーピングしてい
ない緑色発光ダイオードでは観測されないし、赤色発光の特性刺激帯と一致してい
る。特性ピークとbulk吸収によるピークの比、excitonの熱分解の確率、光学遷移確
率などの値から有効な発光中心濃度として $5 \sim 20 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ とえた。種々のダイオ
ードについて N_R を求めると一定電圧での発光強度と比例関係があり、(オ3図) N_R
が発光効率をきめている最も重要な要因であるこ
とが判る。

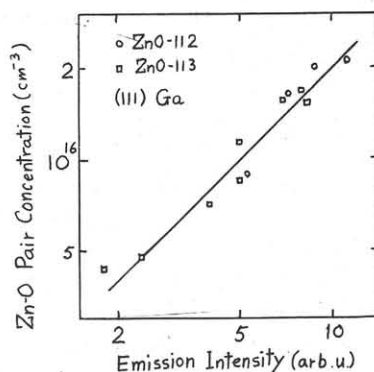
III. ダイオードの効率

赤色発光波長では結晶の吸収係数は小さいが、
屈折率が高いために外部発光効率は内部効率に比
べて低くなる。われわれはダイオードの厚さを減
少させることによって結晶内部での光のpassを減
少させ、外部発光効率を50%近く改善した。

η_{EL} は基板結晶の η_{PL} と密接に関連している。
従来の η_{PL} の最高値11%に対してわれわれは最高
22%の外部効率の結晶とえている。したがって将
来実現される η_{EL} はさらに高められる可能性が大きい。PLの刺激はbulkの吸収お
よびZnO発光中心の特性吸収によつて行われるが、われわれのPLの発光効率の
温度依存性の解析から、発光効率をおさえている要因として濃度消光、Auger再結
合、発光中心の熱イオン化などが指摘される。これらの制御が充分に行われるなら
は効率の一層の改善が達成されるであらう。



オ 2 図



オ 3 図