

ニャ-70中研 矢野盛規 桜井武 猪口敬夫

序 可視発光ダイオードはGaP, GaAsP およびGaAlAsで得られており, GaAlAsでは室温で電流制御型負性抵抗を示す外発光素子が得られている。残りはGaAlAsを用いて, 不純物としてZnとTeを同時にドープすることにより, 可視発光負性抵抗素子を, 一回の液相エポタキシャル成長法により作製することができた。

これはpnpn四層構造で電流制御型の負性抵抗を示し, インジウム6600~7400Åの可視光を発するもので, 特に表示装置への応用が考えられる。

製作法 成長方法はH.Nelsonの発案した液相エポタキシャル法である。一般にⅢ-Ⅴ化合物半導体に不純物としてZnを添加すればP型に, Teを添加すればn型になる。上記成長法にふりてZnおよびTeを同時に添加すれば, そのモル比および偏析係数の温度変化と成長速度依存性から成長層中に任意の位置にp-n接合が形成される。不純物の実効分配係数は

$$K^* = 1 / [1 + (1/K - 1) \exp(-fs/D)]$$

K:平衡状態での分配係数, f:結晶成長速度
s:固液界面での不純物の濃度勾配のある領域
D:不純物の融液中の拡散係数

よって, Kの温度変化はZnの方がTeより遅やかたので高温ではP型層が形成されやすく, 又fの小さきところではZnとTeの偏析係数の差が大きいためP型層が出来やすいと考えると, 定性的に説明できる。このことを図1から図4のFのようにする。即ち, 温度 T_M で降温速度 $V_c(A) = V_c(C)$ で成長を開始すれば, Teは曲線(A), Znは(C)に沿って成長層中にドープされ, 温度 T_{S1} まではP層, T_{S1} でn型に反転する。温度 T_c で降温速度を小さく($V_c(B) = V_c(D)$)すればTeは曲線(B), Znは(D)に沿ってドープされるので温度 T_{S2} までは再びP型層, T_{S2} でn型に反転しp-n-p-n四層構造が得られる。実際, 図2図3に示すような温度サイクルで成長を行えば, p-n-p-n四層構造が得られる。 V_{c1}, V_{c3} は4~20°C/分, V_{c2} は0.25°C/分である。基板としてp型GaAs結晶($p \sim 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$)を用い, 融液の組成はGa:10g, Al:20~50mg, undoped GaAs:1.8g, および, Zn, Teである。

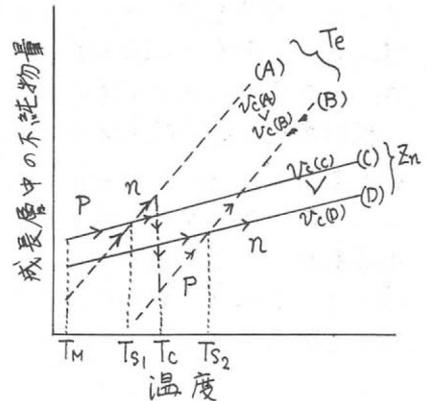


図1 成長層中の不純物量を示す図

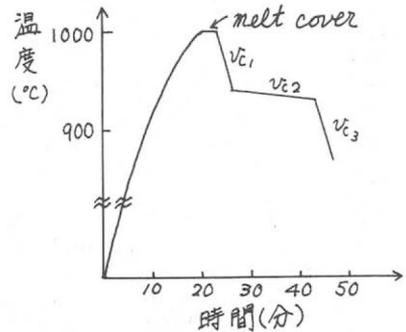


図2 成長熱サイクル

電気的特性 電流(I)-電圧(V)特性の一例を図3に示す。最高逆漸電圧 V_s は8~100V, 保持電流 I_h は0.1~1mA, 保持電圧 V_h は1.6~1.8Vである。こゝからは, 不純物の量および層の厚さによって変化する。図4図にカールス定数から求めた τ - τ 遷移 Δt の印加電圧依存性を示す。 $\Delta t \propto (V_A - V_s)^{-1/n}$, V : 印加電圧 式を近似すると $n=2.5$ である。

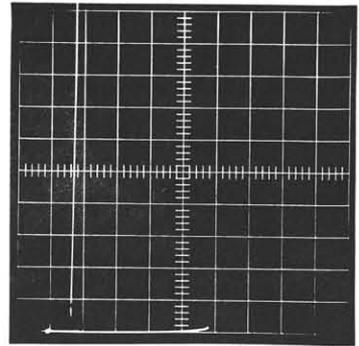


図3 電圧-電流特性
横軸 2V/div. 縦軸 0.5μA/div

発光特性 2の8層構造で得られた $P_1N_1P_2N_2$ ダイオードはオン状態で6600~7400Åの可視光を発するが, 図5図に示すように, 一般に τ - τ の τ - τ 位置はAl添加量および接合の位置を推移するが, 電流1mA~100mAの範囲では波長変化はみられない。短波長側の τ - τ (A)は P_1 への電子注入による発光, 長波長側の τ - τ (B)は N_2 への正孔注入による発光と思われる。

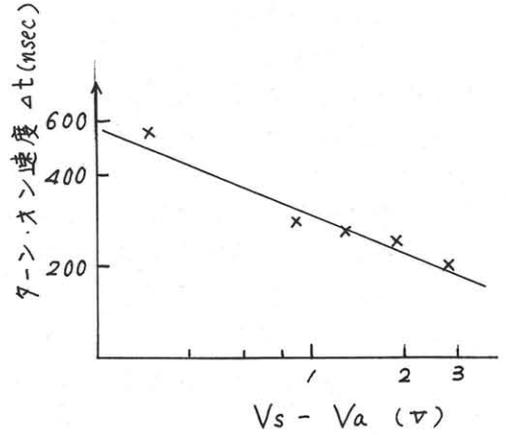


図4 τ - τ 遷移の印加電圧依存性

相対強度の電流依存性を図6図に示すが, 高注入レベルでは両 τ - τ とも $P \propto I^n$ で $n=1.2$ であるが, 低注入レベルでは長波長側 τ - τ (B)は $n=1.2$ よりも大きい値となり, 正孔電流よりも電子電流が支配的であると推定される。

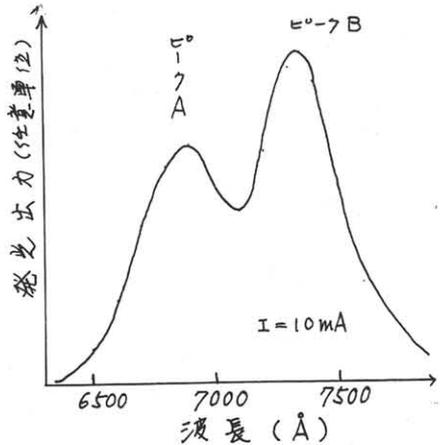


図5 発光スペクトル

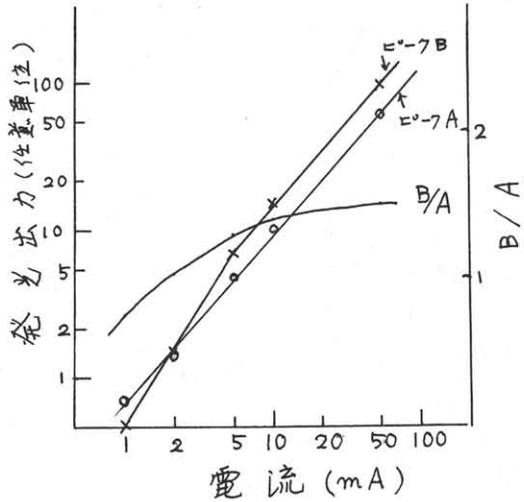


図6 発光 τ - τ 値の電流依存性