

1. 緒言：赤外可視変換蛍光体を有効に励起して高輝度の可視光を得るためには蛍光体の励起スペクトルと赤外発光ダイオードの発光スペクトルとの整合が良好であること、発光ダイオードの外部発光効率が高いことが必要である。赤外可視変換蛍光体 YF₃:Yb,Er 励起に最適の発光スペクトルを有しかつ高発光効率の赤外発光ダイオードを得るために、GaAs_xSb_{1-x}:Si 発光ダイオードの製作を試みた。GaAs_xSb_{1-x}:Si 結晶を(100)および(111)B結晶面を持つn⁺-GaAs結晶基板上に0.39~44.5At.%のSb濃度範囲において液相結晶成長により成長させた。発光スペクトルは(100)結晶面ではGaAs:Si発光ダイオードの場合と同様であった。(111)B結晶面ではSb濃度が2.03~20.1At.%のときピーク波長は960~1025nmの範囲で変化する。外部発光効率は $x=0.96\sim0.98$ のとき1~2%であった。蛍光体と赤外発光ダイオードとの適合性を評価する式を導きGaAs:Si発光ダイオードとの比較を行なった。GaAs_xSb_{1-x}:Si発光ダイオードはスペクトル整合の点では優れており外部発光効率が3%以上になれば有利となる。

2. 結晶成長：GaAs_xSb_{1-x}:Si結晶は、Ga $\approx$ 4.7gr., GaAs $\approx$ 0.38および0.7gr., Si $\approx$ 20mgr., Sb濃度=0.39~44.5At.%から成る熔融液から液相結晶成長によりn⁺-GaAs(Siドープ、 $1\times10^{18}\text{ cm}^{-3}$)結晶基板上に成長した。冷却速度は(100)結晶面では1°C/min, (111)B結晶面では6.7°C/minであった。(i)(100)結晶面のときSb濃度が0.54At.%における成長層の(110)へき開面の写真をFig. 1に示す。Sb濃度が19.0At.%以下ではFig. 1と同様に結晶性は良好であった。19.3At.%における(110)へき開面の写真をFig. 2に、結晶表面の写真をFig. 3に示す。pn接合は不均一であり多結晶の発生がみられる。Sb濃度が44.5At.%になるとFig. 4に示すようにひび割れが発生し結晶性は著しく悪くなる(ii)(111)B結晶面のときSb濃度が6.50At.%における(110)へき開面の写真をFig. 5に示す。Sb濃度が13.25At.%以下ではFig. 5と同様に結晶性は良好であるが、13.25At.%以上になると(100)結晶面の場合の様に結晶性が悪くなる。

3. 分光特性：(100)結晶面では、発光スペクトルはGaAs:Si発光ダイオードの場合と同様であり、ピーク波長の移動は観測されなかった。またX線マイクロアナライザーによりGaAs_xSb_{1-x}:Si結晶中のSb量の測定を試みたが測定誤差範囲内であり検知できなかった。これは(100)結晶面でのpn反転温度(約880°C)附近におけるSbの分配係数が非常に小さいので、GaAs_xSb_{1-x}:Si結晶中にSbが入りにくいためである。(111)B結晶面において、Sb濃度が6.50At.%のときの発光スペクトルの電流密度依存性をFig. 6に示す。Fig. 7は発光スペクトルのピーク波長とSb濃度との関係を示す。ピーク波長はSb濃度と共に増大し、極大に達し、さらにSb濃度が13.25At.%になると急減する。これは結晶性と関係があると思われる。発光スペクトルの半値幅は、Fig. 8に示すように、pn接合面がGaAs結晶基板とGaAs_xSb_{1-x}:Si成長層との界面から離れるにつれて減少する。これはGaAs_xSb_{1-x}:Si結晶中の禁止帯幅は界面近傍では大

きく変化するが、界面からの距離が大きくなるに従って変化は小さくなるので、pn接合近傍の再結合領域が界面近くにあると急変する禁止帯幅の影響を受けて半値幅が大きくなり、界面から十分離れると禁止帯幅の変化が小さくなり半値幅も小さくなるためである。

4. 螢光体との適合性：赤外発光ダイオードの入力を W 、外部発光効率を η_d 、発光スペクトルを $R_d(\lambda)$ 、螢光体の励起スペクトルを $R_e(\lambda)$ とすれば、赤外可視変換発光ダイオードの発光効率 η は、 $\eta = CK_V \eta_d^n W^{n-1} \cdot \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R_d(\lambda)^n R_e(\lambda) d\lambda$ と書ける。 C は実験定数、 K_V は螢光体特有の定数、 n は螢光体の発光機構に依存する。 λ_1, λ_2 はそれぞれ励起スペクトルと発光スペクトルとが重複している波長領域における下限と上限である。 $\eta_{dp} = \int_{\lambda}^{\lambda_2} R_d(\lambda)^n R_e(\lambda) d\lambda$ はスペクトル整合を表わす。 $YF_3: Yb, Er$ 螢光体の η_{dp} はピーク波長が960~980nm のとき最大となり、半値巾が小さいほど大きくなる。 $GaAs_xSb_{1-x}:Si$ 発光ダイオードのピーク波長を960~980nm に設定し、半値幅を減少すれば η_{dp} はGaAs:Si発光ダイオードの1.7倍以上になる。 $GaAs_xSb_{1-x}:Si$ 発光ダイオードが螢光体の励起光源として有利となるためには $x = 0.96 \sim 0.98$ の範囲で3%以上の外部発光効率を必要とする。

5. 謝辞：X線マイクロアナライザーによる測定解析をしていただいた松井純爾氏、御指導いただいた内田一三部長代理、安藤隆男マネージャーに感謝します。

