

InGaAs フォトダイオードの放射線損傷

～ 宇宙利用を目指して～

永田大介 高倉健一郎 大山英典 (熊本電波工業高等専門学校)

1. まえがき

InGaAs Photo Diode は低暗電流, 高感度, 高速応答, 低ノイズの光通信の受光素子として力を発揮しているデバイスである. 光は最も高速な通信手段であり, 人工衛星やロケット, スペースステーション等のように宇宙で, または原子力発電所等放射線にさらされる環境にある場所でも通信技術として使用されている. 特に宇宙での放射線環境は複雑である, 低温から高温と激しい温度変化の中で, 重粒子イオン・X 線を含む銀河宇宙線にさらされるほか, 太陽風やバンアレン帯に補足される電子線や陽子線によってデバイスはより強く放射線の影響を受ける. 従って, 素子が様々な温度の中で放射線の照射により, どのような影響を受けるのかを調べることが必要である. 本論文では JAXA (宇宙航空研究開発機構) との共同研究にて得られた, 感度: $1.0 \sim 1.6 \mu\text{m}$ の $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ フォトダイオード (pin 型) に電子線と X 線を常温, 及び高温で照射し電気的特性の劣化, その照射温度依存性に関する研究について報告する.

2. 実験方法

2.1. 試料

本研究に用いた InGaAs pin フォトダイオードの断面図を図 1 に示す.

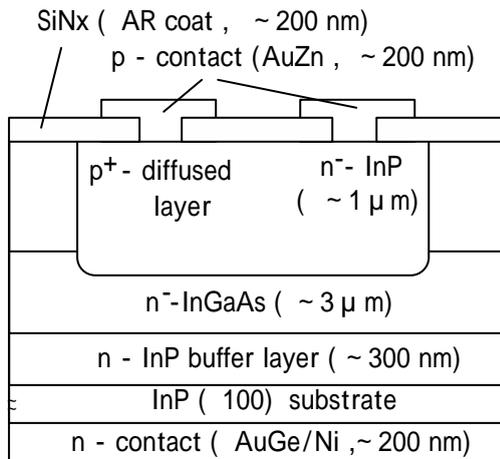


図 1: 実験試料 (InGaAs Photo Diode) 断面図

基板の InP(100)上に InP バッファ層, InGaAs 光吸収層, InP キャップ層をハイドライド VPE 法により薄膜成長させて形成させてある. $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$ のドナー濃度は $\sim 2 \times 10^{15}\text{cm}^{-3}$, アクセプタ濃度は

$\sim 10^{18}\text{cm}^{-3}$ である. p 型領域は InP キャップ層に Zn 拡散により形成した. 接合領域は $200 \mu\text{m}$ である. また, 表面保護膜と AR コートとして SiNx 膜を CVD により成長させてある. 電極は InP 基板の裏面と SiNx 膜の側面に取り付けている.

今回用いたフォトダイオードは, 光通信用フォトダイオードで, 図 1 に示すように p 層と n 層の間にキャリア密度の低い光吸収層 (i 層) を形成した pin 構造となっている. i 層は空乏層幅を広くして光の吸収効率を高く, 応答速度を早くするために導入されている. p 層は禁制帯幅の大きい InP であり, 入射した $0.9 \sim 1.6 \mu\text{m}$ の光はこの層を吸収されることなく通過し, 逆バイアスにより空乏化した InGaAs 層の中で吸収される. そして, 吸収により電子・正孔が放出し, 空乏層内の電界により移動することにより光電流が流れる.

2.2. 照射条件

照射はステンレスのケースに素子をセットし, ヒーターと温度計で照射中の素子を各温度で一定に保ち無バイアスで行った. 電子線は 2MeV で加速し, 照射量 $1 \times 10^{17}[\text{e}/\text{cm}^2]$ でダイオードに照射した. 温度はそれぞれ 50 と 100~300 まで 100 毎で照射している. X 線照射は照射量を $10^8[\text{rad}]$ で, 温度は 25 と 100~300 まで 100 毎で照射した.

3. 測定方法

今回測定した特性は, 以下の 2 つである.

- ・ 暗電流 - 電圧特性 ($-2 \sim 0.8\text{V}$)
- ・ 光電流 - 光強度特性 ($0 \sim 7\text{mW}/\text{cm}^2$; -5V)

4. 結果・考察

暗電流 - 電圧特性を図 2(a)-(b)に示す. 照射後は電子線・X 線ともに電流値は増加している. これは導入欠陥を介して漏れ電流が流れているからである. 照射温度が高温になるにつれて電流値が下がっている. a と b を比べてみると a の方が電流値の増加が大きくなっている. 原因は照射量の違い, 損傷機構の違い等があげられるが, 電子線と X 線の損傷機構は両方とも結晶格子と電子の衝突によるものと考えられるので, 今回の差は放射線のエネルギーの差によるものと思われる. 光電

流 - 光強度特性を図 3(a)-(b)に示す．照射によって光電流は減少している．これは光エネルギーを受けて出来た電子・正孔対が導入欠陥に再び捕獲され電流量が減少したものである．電子線の方が線よりも電流値の減少が大きいのは照射エネルギーの違いと考えられる．また，暗電流・光電流ともに高温になるにつれて照射前の値に近づいてい

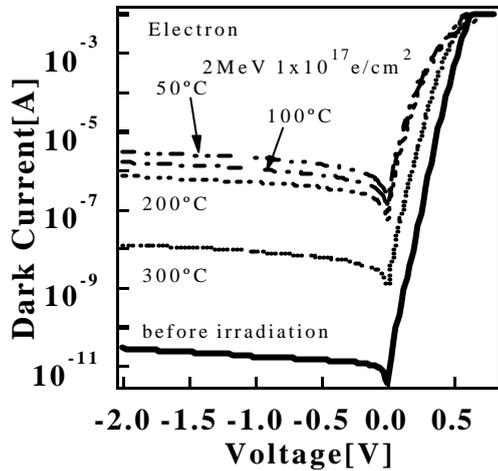


図 2-a : I-V 特性 (電子線照射)

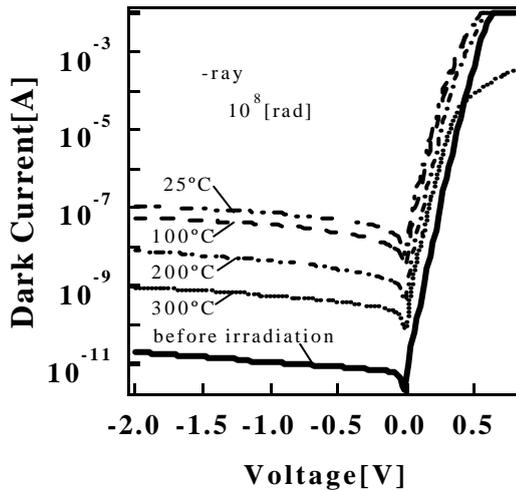


図 2-B : I-V 特性 (線照射)

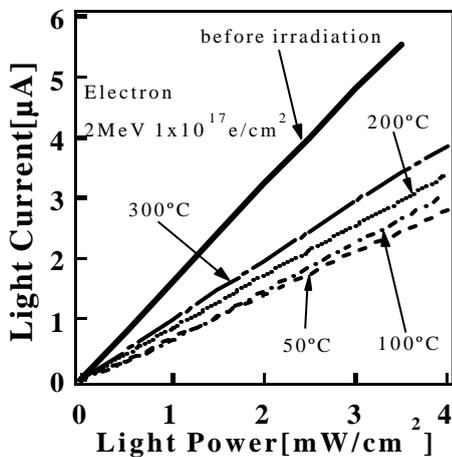


図 3-A : I_L - P_L 特性 (電子線照射)

る．つまり，高温照射は損傷が少なくなっていることが分かる．図 4 に暗電流の照射温度とのアレニウスプロットを示す．求めた活性化エネルギーと比較すると，導入欠陥は線のほうが浅い準位に出来ている．また電子線・線ともに二つのトラップ準位が確認できる．これは，InGaAs の複雑な構造によるものと考えられる．

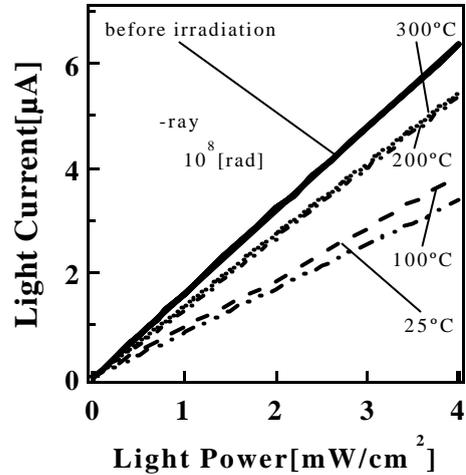


図 3-B : I_L - P_L 特性 (線照射)

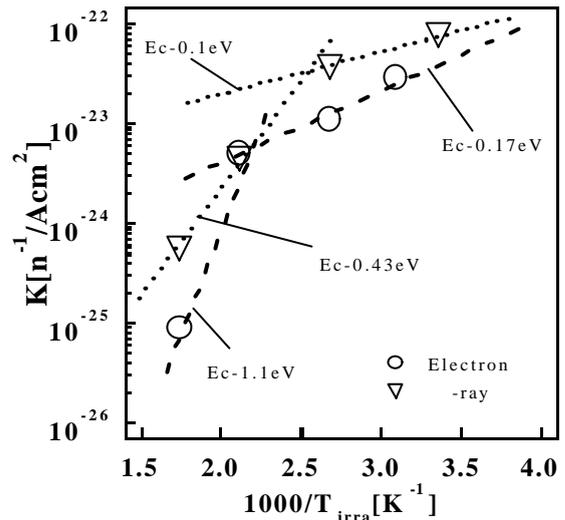


図 4 : K/T 活性化エネルギー

5. まとめ

- 一連の実験から以下のことがわかった．
- 温照射により損傷は少なくなった．
- 入欠陥が二つの準位で確認された．
- 今後の課題は以下の二つである．
- 後照射エネルギー依存性の必要性．
- 他の線源照射についての実験を行う必要性．

文献

H.Ohyama, K.takakura, and K.Hayama, "Damage coefficient in high-temperature particle-and-irradiatedsilicon pin diode" Applied Physics Letters, Vol.82, No.2, p296(2003)

お問合せ先 : 永田 大介

mail da__na@hotmail.com

所属 熊本電波高専

電子情報システム工学専攻