

電子・情報工学専攻	学籍番号	999010	指導教官氏名	吉田 明 若原 昭浩
申請者氏名	李 海 錫			

論文要旨 (博士)

論文題目	Radiation damages in I-III-VI chalcopyrite semiconductors (カルコパイライト系半導体の放射線照射効果に関する研究)
------	---

CuInSe₂(CIS)系カルコパイライト材料は、(バンドギャップが約 1eV の直接遷移型で、既知の太陽電池材料の中では光吸収係数が 10⁵cm⁻¹と最も大きいことから) 薄膜太陽電池材料として期待されている。特に、CIS 系薄膜太陽電池は優れた耐放射線性、低コスト、軽量などの点から人工衛星や宇宙ステーションや宇宙船の電力用電源等、宇宙空間での使用が注目されている。宇宙環境の中では高エネルギーの電子、陽子や他の粒子からのダメージを絶えず受けていて、欠陥の生成により太陽電池の変換効率は低下する。この観点から、実際に宇宙空間での応用を考えた場合、太陽電池あるいは材料自体の照射により生じる欠陥を解明することが必要である。

CIS 太陽電池の変換効率における低下のメカニズムを明らかにするため、まず照射による吸収層である CIS 薄膜中の欠陥生成のメカニズムを理解することが非常に重要である。本研究は、単結晶 n 形 CIS 薄膜の電気特性における高エネルギー電子 (2, 3MeV) と陽子 (0.38, 1, 3MeV) の放射線照射効果と放射線照射による生じる欠陥の解明、さらに、CIS 薄膜の少数キャリアの拡散長における照射効果と CuIn_xGa_{1-x}Se₂(x=1.0, 0.8, 0.4, 0.0)多結晶における放射線照射効果を明らかにすることを目的として行った。はじめに、2MeV と 3MeV 電子線照射後、照射量が 1×10¹⁶cm⁻²を超えると、キャリア濃度と移動度は共に減少した。キャリア消滅速度は約 1cm⁻¹になり、InP や GaAs 太陽電池材料より小さな値を示している。未照射と 3MeV 電子線照射した薄膜のキャリア濃度の温度依存性より、 $N_D=1.8 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$, $N_A=1.7 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$, $E_D=18 \text{meV}$ および $N_T=1.4 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$, $E_T=54 \text{meV}$ という結果が得られた。ホール移動度の温度依存性より、未照射の薄膜においては $N=1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 、照射後の薄膜、 $N=5.4 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ となった。次に、0.38MeV と 1MeV の陽子線照射後、照射量が 1×10¹³cm⁻²以上になると電子濃度とホール移動度が共に減少した、また 3MeV の陽子線照射においては 1×10¹⁴cm⁻³以上で減少した。陽子線エネルギーが 0.38MeV から 3MeV の変化に対して、キャリア消滅速度は 1800cm⁻¹から 300cm⁻¹へ変化することが分かった。未照射と 0.38MeV 陽子線照射した薄膜のキャリア濃度の温度依存性より、 $N_D=9.5 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$, $N_A=3.7 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$, $E_D=21 \text{meV}$ 及び 3×10¹³cm⁻²の照射量で $N_T=1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 、1×10¹⁴cm⁻²の照射量で $N_T=5.7 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$, $E_T=95 \text{meV}$ という結果が得られた。光電磁(PEM)効果により得られた少数キャリアの拡散長は、3MeV 電子線照射後、照射量 1×10¹⁶cm⁻²以上になると減少した。損傷係数(K_L)は約 4×10⁻⁹であった。0.38MeV 陽子線照射後、照射量が 1×10¹³cm⁻²を超えた時に少数キャリアの拡散長が大きく減少した。この場合の損傷係数は 1×10⁻⁴~4×10⁻⁵となった。過渡容量応答(DLTS)法により、未照射と 3MeV 電子線照射後の CIS 薄膜 ($\phi=5 \times 10^{17} \text{cm}^{-2}$) の両方において、電子トラップを示す DLTS のピークが約 180K において見られた。未照射サンプルでは活性化エネルギーが 0.35eV、照射後のサンプルでは 0.22eV であることが分かった。電子スピン共鳴(Electron Spin Resonance)法により、CuIn_xGa_{1-x}Se₂(x=1.0, 0.8, 0.4, 0.0)多結晶の電子線照射効果を評価した。未照射の場合、ESR 信号は Ga 元素の組成に伴って変化したが、3MeV 電子線照射 ($\phi=2 \times 10^{17} \text{cm}^{-2}$) では、Ga 元素の組成に伴って ESR 信号は大きく変化しなかった。また、ESR 信号が異方性であることから、ピーク分離を行った(A, B, C)。ピーク A(g 因子=2.24)は Cu 空格子によって捕獲された正孔からの信号、ピーク B($g=2.01$)は CuIn₂Se_{3.5}の電子からの信号だと推測される。また、電子線照射量が増えると ESR 信号強度は増加した。