

III-V 族窒化物太陽電池特性の p-GaN 層 Mg doping と InGaN 層のキャリア密度依存性

Dependence of III-V nitride solar cell properties on Mg-doping and carrier density in InGaN

(独)物材機構¹, JST-ALCA², 工学院大³, 中部大学⁴ ○角谷正友^{1,2}, 本田徹³, Sang Liwen¹, 中野由崇⁴, 長谷川文夫⁴NIMS¹, JST-ALCA², Kogakuin Univ.³, Chubu Univ.⁴ ○M. Sumiya^{1,2}, T. Honda³, L. Sang¹, Y. Nakano⁴, and F. Hasegawa⁴

E-mail: SUMIYA.Masatomo@nims.go.jp

【はじめに】p-i-n 構造を有する薄膜太陽電池において、p 層の特性と i 層のキャリア濃度および p/i 界面が変換効率を向上させるうえで重要である。InGaN 層を活性領域にした III-V 族窒化物太陽電池は InN モル分率の増加とともに残留キャリア濃度の増加が懸念される。計算機 simulation によって、p-GaN 層の Mg ドーピング密度と i 層のキャリア濃度が太陽電池特性に及ぼす影響について検討したので報告する。

【実験方法】Simulation には STR Japan 社の計算プログラム SCSim ソフト[1]を用いた。計算モデルは、+c 極性で p-GaN (50 nm) (Mg: $0.7\sim 3\times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$)/i-In_{0.2}Ga_{0.8}N (150 nm) (n_e: $0.1\sim 1\times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)/n-GaN (200 nm) (Si: $3\times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$) pin のヘテロ構造とした。Mg および Si の準位はそれぞれ 170 meV, 13 meV で、InGaN 層は完全に歪んでいることとし、p, i 層の doping 密度を変えて検討した。転位密度を 10^9 cm^{-2} 、i 層、ドープ層のキャリア寿命を 10^{-9} , 10^{-10} sec、電子および正孔移動度を 200, 3 cm^2/Vsec とした。p-GaN 層側から AM1.5G を照射した場合の計算を行った。

【結果】図 1 は i 層の InGaN のキャリア濃度を $1\times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ として、p-GaN 層の Mg ドーピング密度を変化させた構造に対して AM1.5G を照射した時の電流-電圧特性の計算結果である。Mg が $7\times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 密度の時に極端に特性が劣化する。イオン化したアクセプター濃度が少ないために、十分な電界を p/i 界面で形成できないからである。i 層のキャリア濃度を増加させると空乏層が狭くなり、空乏層内の n 層に向かうフラットな領域での再結合が増加するために Fill Factor が劣化する。InGaN 活性層内のキャリア寿命が短くなると、さらに FF 値は劣化する。

良好な特性を得るためには、p 層のキャリア濃度として $1\times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 程度必要というだけでなく、p/i 界面での再結合を防ぐ点からも、バンドオフセットのない p-InGaN のホモ接合を実現していかなければならないと考えられる。

【謝辞】本研究の一部は JST-ALCA によって行われたものである。

[1] <http://www.str-soft.com/products/solar/>

[2] 角谷、Sang、長谷川、中野；第 61 回応用物理学会春期講演会 2014.3、17p-E13-3

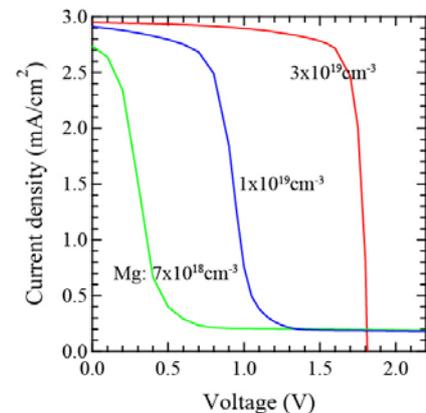


図 1. p-GaN/i-InGaN ($1\times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$)/n-GaN 太陽電池構造において、p 層の Mg ドーピング密度を変えた時の I-V 特性。

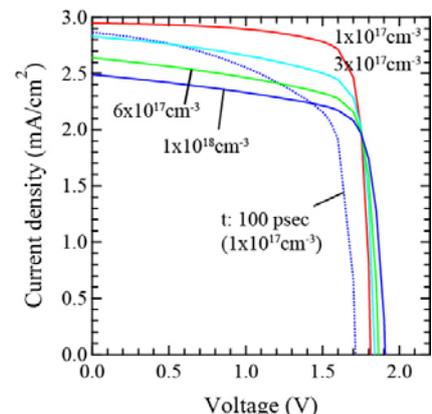


図 2. p-GaN (Mg: $3\times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$)/i-In_{0.2}Ga_{0.8}N/n-GaN (Si: $3\times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$) 太陽電池構造において、i 層のキャリア濃度を変化させて計算した I-V 特性。キャリア寿命 $t: 100 \text{ psec}$ の場合も示す。