

歪み InGaN 活性層を用いた太陽電池特性の n 層ドーピング密度依存性

Dependence of doping layers on photovoltaic property from strained p-i-n InGaN structure

(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】InGaN 層を活性領域にした p-i-n 型 III-V 族窒化物太陽電池では通常 InGaN 層に歪みが入っている。歪みによるピエゾ電界は空乏層電界と逆方向であるので、i/n 界面での再結合速度が速くなるために太陽電池(SC)特性を劣化させる[1]。計算機 simulation により検討したところ、n-GaN 層の doping 密度を増加させることにより、ピエゾ電界による太陽電池特性への影響を緩和できることが分かったので報告する。

【計算方法】Simulation には STR Japan 社の計算プログラム SCSim ソフトを用いた[2]。計算モデルは、+c 極性で p-GaN (50 nm) (Mg: $3.0 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$)/i-In_{0.2}Ga_{0.8}N (150 nm) (Si: $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$)/n-GaN (200 nm) (Si: $0.3 \sim 3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$)の 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、n 層の doping 密度を変えて検討した。転位密度を 10^9 cm^{-2} 、i 層、ドーピング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 Si ドーピングレベルの異なる n-GaN 層から歪を受ける In_{0.2}Ga_{0.8}N を活性層とした pin ヘテロ接合の AM1.5 照射下での電流-電圧 (I-V) 特性の計算結果である。n-GaN の Si 密度が $7 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の場合、I-V 特性は電圧による光電流低下が著しく、階段状の特性となっている。これは、図 2 の 0V でのバンドダイアグラムに示されるように、ピエゾ電界により n-InGaN 層に逆方向の電界ができ、励起された電子が n-GaN 基板方向に流れにくくなる為である。歪がある場合 0V でも i/n 界面で再結合が顕著で、そのレートは $2.3 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}/\text{sec}$ であった。n-GaN 層のドーピング密度を増加させると、Fill factor が徐々に改善されて、活性層の歪を完全に緩和させたもの(図1点線)に近づくことがわかる。これは、Si 密度を $3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ まで増加させると、図 2 に示すように n-GaN/i-InGaN 界面のノッチが低くなり(再結合速度低下)、電子が流れるようになるからである。イオン化不純物密度分布を調べたところ、正にイオン化した n 層のドナーが、ピエゾ効果による i-InGaN 層の負の電荷をキャンセルしていた。

活性層を InGaN とする太陽電池は歪の影響を受けるが、n 層のドーピング密度を増加させることで I-V 特性は緩和した特性に近づけることができることが分かった。

【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] 角谷、Sang、長谷川、中野;第 61 回応用物理学会春期講演会 2014.3.17 pE13-3

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

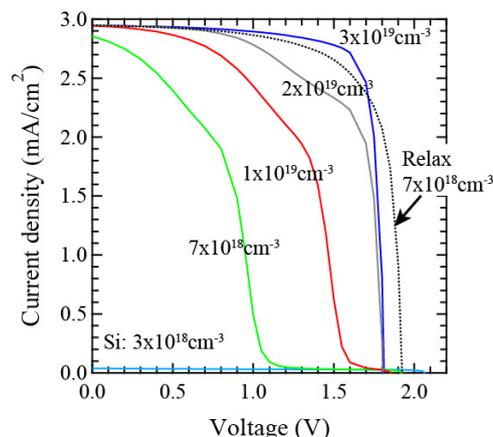


図 1. p-GaN/歪 i-In_{0.2}Ga_{0.8}N/n-GaN ヘテロ構造において n-GaN 層の Si doping 密度を $0.1 \sim 3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ とした場合の太陽電池特性。緩和した場合を点線で示す。

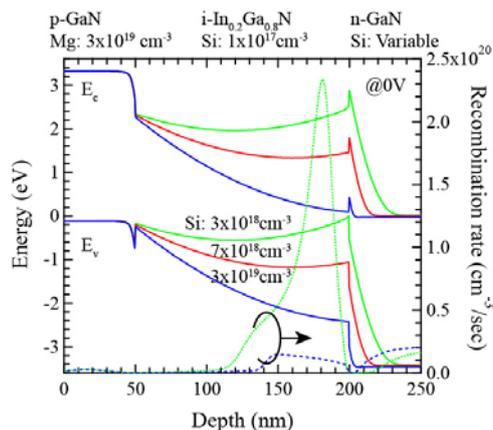


図 2. AM1.5 照射下での 0V における p-GaN/歪 i-In_{0.2}Ga_{0.8}N/n-GaN ヘテロ構造のエネルギーダイアグラム。右軸に Si ドーピング密度 $7 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ と $3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ の場合の再結合レートを示す。