Si ドープ GaAsN における電子活性化エネルギーの Si 不純物濃度依存性

Electron activation energy in Si doped GaAsN as a function of Si impurity concentration

○塚崎 貴司[1]，日吉 連[1]，藤田 実樹[2]，牧本 俊樹[1]　（1. 早大理工，2. 一関高専）

○T. Tsukasaki[1], R. Hiyoshi[1], M. Fujita[2] and T. Makimoto[1] (1. Waseda Univ. 2. NIT, Ichinoseki College)

E-mail: tydb3@ruri.waseda.jp

はじめに：$GaAs_{(1-x)}N_x$ ($0 \leqq x \leqq 0.03$)は窒素組成([N])の増加にともなってバンドギャップエネルギーが大きく減少する特性をもち，GaAs 基板上での多接合型太陽電池の 1.0 eV 帯材料への応用が期待されている。このようなデバイスの実現に向けては，pn 接合を構成する Si ドープ GaAsN の Si ドーピング機構の解明は不可欠である。我々は現在までに，Si ドープ GaAsN における室温での Si 原子の活性化率が[N]の増大にともなって大きく減少することを確認した[1]。さらに，低い Si 不純物濃度([Si] = 4×10^{17} cm^{-3})において電子の活性化エネルギー(ΔE_e)が 71 meV となることを明らかにし，伝導電子が伝導帯の下端付近に存在する局在準位に落ち込むことによるものと解釈した[1-3]。今回は，より大きい[Si](≧ 1×10^{18} cm^{-3})における電子濃度(n)の温度特性から，Si ドープ GaAsN の電子活性化エネルギーや伝導帯下端付近の局在準位について詳細な検討を行ったので報告を行う。

実験：RF-MBE 法を用いて半絶縁性 GaAs(001)基板上に 500 nm の Si ドープ GaAsN を成長した。成長パラメーターとして，[Si] = 4×10^{17} cm^{-3}, 1×10^{18} cm^{-3}, 6×10^{19} cm^{-3} とし，[N]はいずれも 0.9 %程度で固定した。XRD 測定から窒素組成を算出し，Hall 測定により電子濃度の温度特性を得た。

結果と考察：[Si]を変化させた Si ドープ GaAsN について，電子濃度の温度特性を Fig. 1 に示す。高い[Si](= 6×10^{19} cm^{-3}) を含む Si ドープ GaAsN では，n は測定温度(T)によらず一定である。一方で，中程度の[Si](= 1×10^{18} cm^{-3}) を含む Si ドープ GaAsN では，n は室温から 150 K にかけて減少し，120 K 以下の低温では一定であった。ここで，この中程度の[Si](= 1×10^{18} cm^{-3})を含む Si ドープ GaAsN の T ≧ 150 K での n について，低温での電子濃度(n_0)に対する増加分 $\Delta n(T)$(≡ $n - n_0$)を計算した。T ≦ 120 K では，n_0 = 4.4×10^{17} cm^{-3} である。そして，この $\Delta n(T)$の温度特性を Fig. 2 に示す。$\Delta n(T)$は T に対して指数関数的に減少し，その活性化エネルギーは 72 meV となった。このように，低い[Si] (= 4×10^{17} cm^{-3})を含む Si ドープ GaAsN における ΔE_e (= 71 meV)と $\Delta n(T)$の活性化エネルギーが一致した。この実験結果は，中程度の[Si](= 1×10^{18} cm^{-3}) を含む Si ドープ GaAsN には，浅いドナー準位とともに、やや深い局在準位が存在していることを示唆している。なお，[Si] = 6×10^{19} cm^{-3} を含む Si ドープ GaAsN における n の温度特性では，浅い準位のドナー濃度が高いために、$\Delta n(T)$が有意に観測できなかったものと考えられる。

[1] T. Tsukasaki *et al.*, The 20th International Conference on Molecular Beam Epitaxy, Tu-P-36 (2018).

[2] M. C. Hsieh *et al.*, J. Appl. Phys., 110, 103709 (2011).

[3] W. Okubo *et al.*, Phys. Status Solidi A 211, 752 (2014).

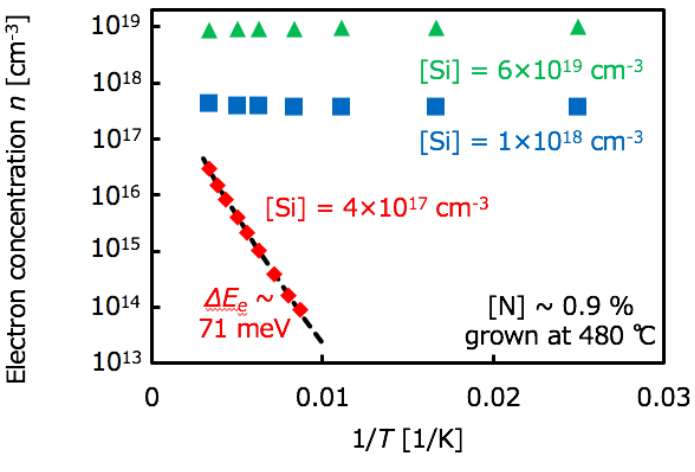


Fig. 1: Temperature dependence of n in Si doped GaAsN alloys as a function of [Si].

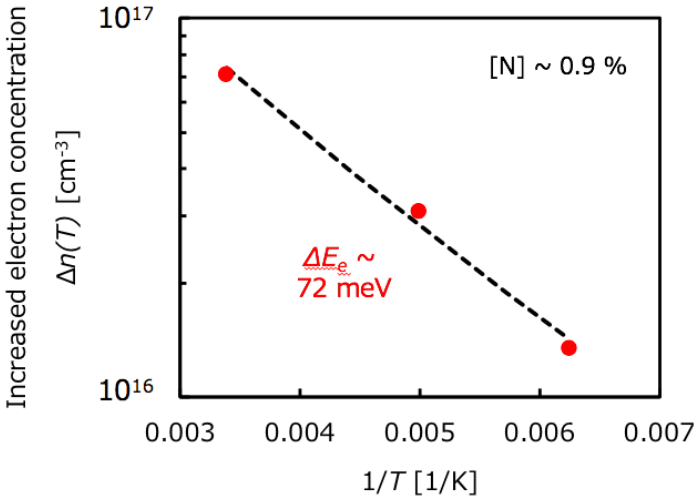


Fig. 2: Temperature dependence of $\Delta n(T)$ in Si doped GaAsN alloys with [Si] of 1×10^{18} cm^{-3}.

© 2019年 応用物理学会