

Si-GaAsN における Si ドナー活性化機構

Si doping mechanism in Si-GaAsN

○塚崎 貴司¹, 日吉 連¹, 椎野 直樹¹, 尾高 拓弥¹, 黒澤 拓也¹, 藤田 実樹², 牧本 俊樹¹

(1. 早大理工, 2. 一関高専)

○T. Tsukasaki¹, R. Hiyoshi¹, N. Shiino¹, T. Odaka¹, T. Kurosawa¹, M. Fujita² and T. Makimoto¹

(1. Waseda Univ. 2. NIT, Ichinoseki College)

E-mail: tydb3@ruri.waseda.jp

はじめに: GaAsN は低い窒素組成でバンドギャップエネルギーが大きく減少する特性を持ち, GaAs 基板を用いた多接合型太陽電池の 1.0 eV 帯材料への期待がある。このため, pn 接合を構成する Si-GaAsN の Si ドーピング特性の解明は不可欠であり, Si-GaAsN において窒素組成の増大に伴い室温での Si ドナー活性化率 α が大きく減少することが報告されている。我々は, 一般的な Si ドナーの振る舞いや先行研究での報告^{[1],[2]}を総合的に加味し, Si 不純物を取り込まれる以下の 4 つの機構を考慮することにより, α の窒素組成依存性の解釈を試みたので報告を行う。

- ① $\text{Si}_{\text{Ga}} \cdots$ ドナーとして活性化
 ② $(\text{Si} - \text{N})_{\text{As}} \cdots$ Si 不活性化^{[1],[3]}
 ③ $\text{Si}_{\text{Ga}} - \text{N}_{\text{As}} \cdots$ Si 準位が深くなる^[2]
 ④ $\text{Si}_{\text{As}} \cdots$ アクセプター化

実験: RF-MBE 法を用いて半絶縁性(001)面 GaAs 基板上に 500 nm の Si-GaAsN を成長した。成長パラメーターとして基板温度, Si 不純物濃度 [Si], 窒素組成を変化させた。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。 α については [Si] に対する室温での電子濃度の割合を計算した。

結果と考察: 基板温度を 480 °C から 580 °C へ高くした場合には, 基板温度の上昇に伴って α が大きく減少した。これは成長時の熱エネルギーの増加により, ②の機構が増加したためである^[3]。 [Si] を変化した Si-GaAsN について, 電子濃度の温度特性を Fig. 1 に示す。高い [Si] では, 不純物バンドが形成され, 電子濃度の温度依存性が小さい。これに対して, 低い [Si] では電子濃度が指数関数的に減少しており, その傾きから求めたドナー準位は伝導帯下端から 71 meV となり, Si-GaAs に比べて Si ドナー準位が深くなることがわかった。最後に, α の窒素組成依存性を Fig. 2 に示す。理論曲線は②の機構を考察した文献^[3]から引用した。結論として, [Si] が低い ($\leq 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) 領域では③の機構, [Si] が高い ($\geq 10^{19} \text{ cm}^{-3}$) 領域では④の機構, [Si] が非常に高い場合を除き窒素組成に依存して②の機構により, Si-GaAsN での α が大きく減少することを明らかにした。

[1] A. Janotti *et al.*, PRL 100, 045505 (2008).

[2] Jingbo Li *et al.*, PRL 96, 035505 (2006).

[3] Y. J. Kuang *et al.*, Appl. Phys. A 120, 635 (2015).

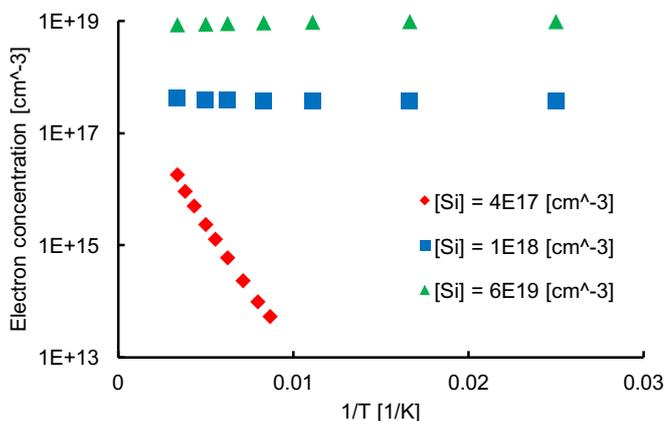


Fig. 1: Temperature dependence of electron concentration of Si-GaAsN. (Nitrogen composition $\approx 0.9\%$)

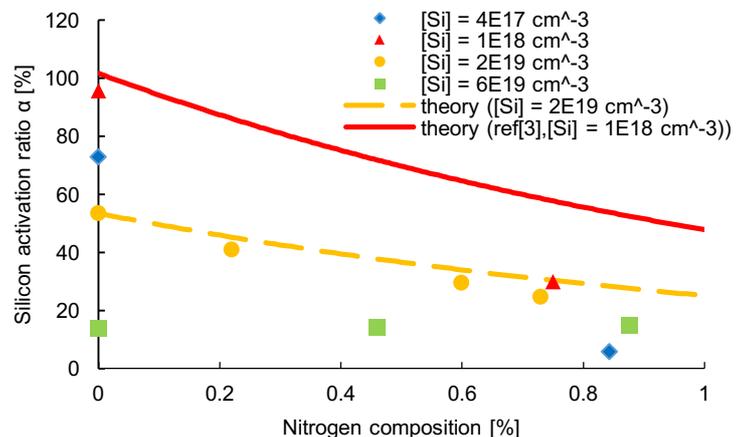


Fig. 2: Silicon activation ratio (α) as a function of nitrogen composition.