

中性子転換注入不純物で補償された GaN の深いドナー準位

The deep donor level in GaN compensated by neutron transmutation doped impurities

法政大学¹, 大阪教育大学², 京大原子炉³, 産総研⁴

Hosei Univ.¹, Osaka kyoiku Univ.², Kyoto Univ.³, AIST.⁴

○中村 司¹, 上岡 一馬¹, 伊田 孝寛¹, 栗山 一男¹, 串田 一雅², 徐 虬³, 長谷川 雅考⁴

○Tsukasa Nakamura¹, Kazuma Kamioka¹, Takahiro Ida¹, Kazuo Kuriyama¹, Kazumasa Kushida²,
Q. Xu³, Masataka Hasegawa⁴

E-mail: tsukasa.nakamura.2h@stu.hosei.ac.jp

中性子転換注入(NTD: Neutron Transmutation doped)は熱中性子と、構成原子との核反応による制御性に優れた均一な不純物ドーピングが期待できる手法である[1, 2]。以前我々が行った研究において、NTD-GaN は(n, γ)反応により ^{69}Ga が ^{70}Ge に、 ^{71}Ga が ^{72}Ge に転換注入され、Ge の DX 様センターがドナーとして働くことを示した[3]。また(n, p)反応により ^{14}N が ^{14}C に転換注入されることを液体シンチレーション法より明らかにし、 ^{14}C アクセプターが DX 様センターGe のドナーを補償している可能性を示唆した[4]。本研究では、NTD-GaN を電氣的観点から評価した。

出発材料は単結晶薄膜 GaN(膜厚 $2\ \mu\text{m}$)である。この試料に京都大学原子炉実験所の水圧輸送管設備を用いて中性子の照射を行った。照射条件は熱中性子束 $\Phi_{\text{th}}=8.15\times 10^{13}\ \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 、高速中性子束 $\Phi_{\text{f}}=3.9\times 10^{13}\ \text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ で照射時間は 48 時間である。種々の核反応に対してそれぞれ転換注入濃度を算出した結果、 ^{72}Ge と ^{14}C の濃度はそれぞれ $1.24\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ と $1.13\times 10^{18}\text{cm}^{-3}$ であった。

1000°Cアニール NTD-GaN に対して、Van de Pauw 法による AC ホール効果測定を測定温度 100~500°Cで行った。200°Cの比抵抗は $1.38\times 10^6\ \Omega\text{cm}$ 、キャリア濃度は $1.85\times 10^{11}\text{cm}^{-3}$ 、500°Cでの比抵抗は $1.11\times 10^2\ \Omega\text{cm}$ 、キャリア濃度は $1.83\times 10^{15}\text{cm}^{-3}$ であった。キャリア濃度は転換注入濃度の計算値と比較して3桁小さい。そのため ^{14}C アクセプターは DX 様センターGe のドナー準位を補償し、高抵抗化していると考えられる。またキャリア濃度の温度依存性からキャリアの活性化エネルギーを算出した結果、約 960 meV の活性化エネルギーを有する準位の存在が明らかとなった。

ラザフォード後方散乱測定を行った結果、整軸イオン収量 χ_{min} とチャネリングディップの半値角は未照射 GaN では 2.04%と 1.03° 、1000°Cアニール NTD-GaN では 1.93%と 1.02° であり、この結果から Ga 原子の変位は認められず、約 960meV の準位は Ga 原子の欠陥との関係性がないことが明らかとなった。

[1] M. Satoh, K. Kuriyama and T. Kawakubo, J. Appl. Phys. 67, 3542 (1990).

[2] M. Satoh and K. Kuriyama, Phys. Rev. B40, 3473 (1989).

[3] K. Kuriyama, T. Tokumasu, J. Takahashi, H. Kondo, and M. Okada, Appl. Phys. Lett. 80,3328(2002).

[4] T. Ida, T. Oga, K. Kuriyama, K. Kushida, Q. Xu, and S. Fukutani, The American Institute of Physics Conference Proceedings, Physics of Semiconductor, 31st International Conference on the Physics of Semiconductor, Zurich(2012). (in press).