19a-B5-10

# InGaN の MOVPE 成長における Si doping による In 取込量の抑制

## Suppression of In incorporation by Si-doping in MOVPE growth of InGaN

福井大院工 [1], JST-CREST[2], 大阪市大学院工 [3]; 三原 章宏 [1,2], 重川 直輝 [3], 山本 暠勇 [1,2]
University of Fukui[1], JST-CREST[2], Osaka City University[3]; A. Mihara[1,2], N. Shigekawa[3], and A. Yamamoto[1,2]
E-mail: ayamamot@u-fukui.ac.jp

**《序》**InGaN は、組成を変えることでバンドギャップを 0.65～3.4eV の範囲に変化できることから、多接合タンデム太陽電池材料として期待されている [1)]。タンデム太陽電池での重要な構成要素の一つとして、サブセル間を構造的、電気的に接続するトンネル接合がある。InGaN 系トンネル接合の実現には、InGaN の不純物高濃度ドーピング挙動の解明が重要である。本報告では、MOVPE 成長 $In_xGa_{1-x}N$ (x~0.3) の Si 高濃度ドーピング挙動について報告する。特に、Si ドーピングによって MOVPE 成長 InGaN の In 取込量が低減することから Si が In サイトに優先的に取り込まれることを見出した。

**《実験方法》** 横型反応管方式の MOVPE 装置を用いて GaN/α-$Al_2O_3$(0001)テンプレート上にノンドープ、 Si ドープ $In_xGa_{1-x}N$ (x~0.3) を基板温度 600℃、圧力 600Torr で 0.3～0.5 μm の厚さに成長させた。原料には、TEG、TMI、$NH_3$ および He 希釈 0.2%モノメチルシラン (MMSi) を用いた。

**《実験結果及び考察》** Fig. 1 は異なる MMSi 流量で成長させた InGaN 膜の X 線 2θ/ω回折図形である。この結果が示すように、MMSi 流量の増大とともに In 組成が減少する。Fig. 2 に、InGaN 中のキャリア濃度 n、移動度μおよび SIMS 分析による Si 原子濃度$[Si]_{solid}$の MMSi 流量依存性を示す。この結果からわかるように、10～50 SCCM の MMSi 流量に対して $10^{21}$～$10^{22}$ $cm^{-3}$ の Si 原子がドープされ $10^{20}$ $cm^{-3}$ 台のキャリア濃度が得られた。Si 原子の活性化率は 0.16 (MMSi 流量 10 SCCM)～0.06 (MMSi 流量 50 SCCM)であった。 Si ドープによる In 取込量減少効果を定量的に理解するために、In 組成から求められる In 原子濃度と SIMS 分析からの Si 原子濃度を気相中の Si/In 原子比に対してプロットした。結果を Fig. 3 に示す。気相中の Si 原子濃度の増大とともに、Si 濃度が増加する一方、In 濃度が減少し、両者の和は気相中の Si 原子濃度に依存せず約 1.5x$10^{22}$ $cm^{-3}$ で一定であることがわかる。 このことは、Si は In が取り込まれるべきサイトに優先的に取り込まれることを示している。このような Si 原子の優先的取込みは、Ga-N 結合長 (1.95 Å)[2)]に比べて In-N 結合長が 2.14 Å[2)] と大きく、 Si-N 結合長が 1.78~1.89 Å[3)] と小さいことに起因していると考えられる。

**謝辞**: 本研究の一部はJST-CREST「太陽光を利用した独創的クリーンエネルギー生成技術の創出」の支援によって実施されたものである。

**参考文献**： 1) A. Yamamoto et al., Phys. Stat. Sol. c, 7, 1309 (2010). 2) S. Sakai et al., Jpn. J. Appl. Phys., 32, 4413 (1993). 3) N. Li et al., J. Cryst. Growth, **311**, 4628 (2009).

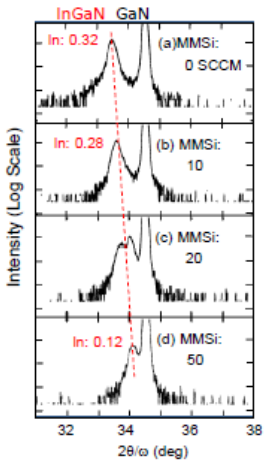


Fig. 1. X-ray 2θ/ω diffraction profiles for InGaN grown with a different MMSi flow rate.

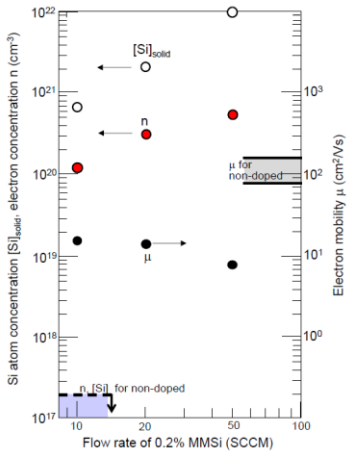


Fig. 2. Si concentration $[Si]_{solid}$, electron concentration n, and electron mobility μ in grown InGaN as a function of MMSi flow rate.

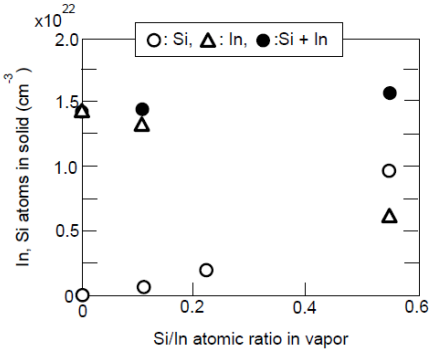


Fig. 3. In atom concentration obtained from X-ray diffraction data and Si concentration obtained by SIMS, as a function of Si/In atomic ratio in vapor.



© 2013 年　応用物理学会