規則配列 GaN ナノコラムの電気特性におけるフェルミピニングの影響 Influence of Fermi-pinning on electrical characteristics of regularly arranged GaN nanocolumns 上智大理工¹, 上智ナノテク² 中川 洋平¹, 岸野 克巳^{1,2}* Sophia Univ.¹, Sophia Nanotechnology Research Center² Yohei Nakagawa¹, Katsumi Kishino^{1,2}* *E-mail: kishino@sophia.ac.jp

はじめに:ボトムアップ法で作製されるナノコラムは、その特有のナノ構造効果で基板からの貫通転 位が抑制されるため発光効率が向上し[1]、直径 100 nm 以下の細いナノコラムでは歪緩和効果の向上、 InGaN 混晶での In 組成揺らぎ抑制が期待される。細線ナノコラムは優れた発光特性を有するが、フェ ルミピニングによりナノコラム側面が空乏化し、細線ナノコラムでは空乏化がコラム全域に広がり電 気特性を悪化させることが理論的に指摘されており[2]、このナノコラム高抵抗化は、細線化に伴う発 光特性向上とトレードオフの関係にある。本研究では、規則配列 GaN ナノコラムを用いてコラム径を 系統的に変化させ、実験的にコラム抵抗を評価したところ、コラムの抵抗率が細線化に伴い上昇し、 そのコラム径依存性は、文献[3]のコラム側面の空乏化に基づいた理論式と整合することを示した。

実験・結果:c面サファイア上HVPE-GaNテンプレートに、rf-MBE法によるTiマスク選択成長法を用いて規則配列n-GaN:Siナノコラムrf-MBE成長し、コラム上部とコラム成長領域外に金属電極を蒸着し、電圧-電流特性を評価した。リーク電流成分を極小化するため、ナノコラム間は、原子層堆積(ALD)法によって絶縁物(SiO₂,TiO₂)で埋め込んだ。規則配列ナノコラムは、三角格子状に配列し、周期Lは70、100、150、200 nmとし、コラム径Dは30~150 nmの範囲で変化させた試料を作製した。Fig.1には充填率25%程度におけるI-V特性を示した。パラメータはコラム径で50nm以下の細いコラムでは高抵抗化していることが分かる。Fig.2にはI-V特性及びSEM観察によるコラム体積から算出した抵抗率とコラム径の関係を示した。抵抗率はコラム周期によらず、コラム径が細くなるにつれ上昇し、空乏化による抵抗率変化のモデル式[3]におけるSiドープ濃度N_b = 1×10¹⁸ cm³の理論値と概ね整合した。この結果は、細線ナノコラム電気特性がフェルミピニングの影響を大きく受けていることを示唆している。コラム側面空乏化による高抵抗化は、Fig.2のSiドープ濃度N_b = 5×10¹⁸ cm³の理論曲線からも分かるように、ナノコラムの高ドーピングによって改善されよう。この実験は、コラム径 50nm以下の細線コラム領域では、十分な導電性を得るためには多少の高ドーピングの必要性を示唆している。



Fig. 1 (a) I-V characteristics as function of column diameter L is column pitch. D is column diameter. (b), (c), and (d) the top-view SEM images of three pattern (D = 36, 50, 103 nm). The filling factor of three patterns are about 25%.



Fig. 2 Resistivity as function of column diameter. Resistance was obtained for the slope of $-0.02 \sim +0.02$ V by subtracting 7 Ω of bias resistance. The column height, electrode area and filling factor of columns were used for the calculation of resistivity.

謝辞:本研究は科研費・特別推進研究(#24000013)の援助を受けて行なわれた。 参考文献 [1] H. Sekiguchi, K. Kishino, and A. Kikuchi, Appl. Phys. Express 1, (2008) 124002. [2] R. Calarco et al., Nano Lett. 5, 981 (2005). [3] O. Benner et al.: Appl. Phys. Lett. 107, 082103(2015)