

## 電圧制御型 GaN/AlGaIn フォトニック結晶熱輻射光源の変調度向上

## Improvement of modulation amplitude in GaN/AlGaIn photonic crystal thermal emitters

°Kang Daniel Dongyeon, 井上 卓也, 浅野 卓, 野田 進 (京大院工)

°D. Kang, T. Inoue, T. Asano, and S. Noda (Kyoto Univ.)

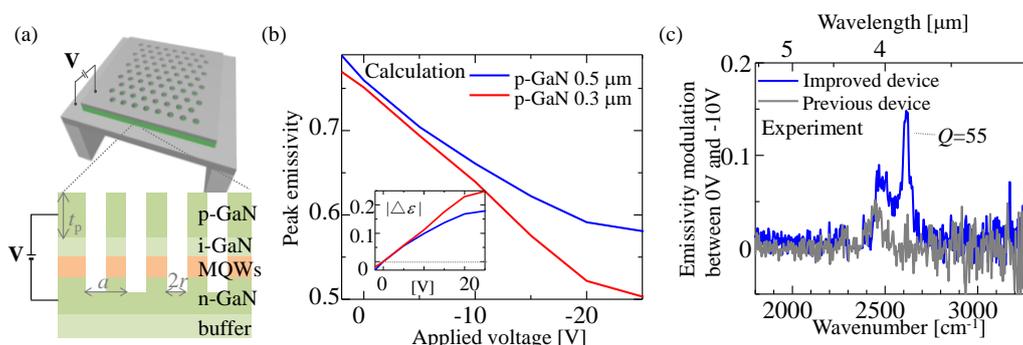
E-mail: kang@qoe.kuee.kyoto-u.ac.jp, snoda@kuee.kyoto-u.ac.jp

【序】放射率を電圧制御可能な狭帯域熱輻射光源は、光吸収による物質検出システムの小型・低消費電力化・性能向上を可能にするデバイスとして期待されている。我々はこれまでに、GaAs系n型多重量子井戸(MQW)と2次元フォトニック結晶(2D-PC)を組み合わせ、長波長赤外線領域( $\lambda=9\ \mu\text{m}$ )において狭帯域熱輻射の高速変調動作(放射率変調度 $\Delta\varepsilon=0.6$ )を実証してきた<sup>1)</sup>。また、大きなバンドオフセットにより短波化が容易で、かつ高温動作による高強度化が可能なGaN系MQWを利用した中波長赤外線領域の狭帯域熱輻射光源の開発にも取り組み、その放射率の電圧制御にも成功している<sup>2,3)</sup>。ただし、その放射率変調度は10Vの電圧印加で5%程度に留まっていた。今回、デバイス構造の設計と作製の改良を行い、放射率変調度を向上することに成功したので報告する。

【設計】本熱輻射光源の構造模式図をFig. 1(a)に示す。本光源は、n-GaN/Al<sub>0.4</sub>Ga<sub>0.6</sub>N MQW (10層)のサブバンド間遷移(~波長4 $\mu\text{m}$ )と三角格子2D-PCのバンド端共鳴モードを適切に結合させることで、面垂直方向に狭帯域熱輻射を発生できるように設計されている。またp-n接合への電圧印加によりMQW層の電子密度を制御し、それによるサブバンド間遷移強度の制御を介して放射率を変調出来る。Fig. 1(b)に従来構造における印加電圧-ピーク放射率特性の計算結果を青線で示す。逆バイアス印加によって放射率は減少していくが、MQW層の電子がほぼ空乏化した場合(-20V付近)でも0.6程度の放射率が残留しており、これはp-n層の自由キャリアが2D-PCの共鳴モードと結合することによる熱輻射と考えられる。そこで、逆バイアス印加時の残留放射が減少するため、 $t_p$ を従来の0.5 $\mu\text{m}$ から0.3 $\mu\text{m}$ に減少させた光源の電圧・放射率の理論特性をFig. 1(b)中の赤線に示す。同図より、逆バイアス印加時の残留放射が減少するため、変調度を増大出来ると期待される。

【実験】従来光源( $t_p=0.5\ \mu\text{m}$ 、格子定数3.0 $\mu\text{m}$ 、500 $^\circ\text{C}$ )と今回新たに設計・作製した光源( $t_p=0.3\ \mu\text{m}$ 、格子定数2.8 $\mu\text{m}$ 、450 $^\circ\text{C}$ )の電圧未印加時および-10V印加時の面垂直方向における放射率スペクトルの差をFig. 1(c)に示す。前回作製した光源の放射率変調度 $\Delta\varepsilon$ (0.05)はFig. 1(b)の理論計算( $\Delta\varepsilon=0.1$ )と比較して小さいが、これは電極作製プロセスが最適化されておらず、量子井戸に実効的に印加される電圧が小さくなったためと推測される。一方、今回作製した光源では、電極作製プロセスの改善とp層厚さを減少させる工夫により、放射率変調度が約3倍(0.15)に向上した。詳細は当日報告する。本研究の一部は科研費の支援を受けた。

【文献】<sup>1)</sup>T. Inoue et al., *Nat. Mater.* **13**, 928 (2014). <sup>2)</sup>Kang et al., *Appl. Phys. Lett.* **110**, 181109 (2017). <sup>3)</sup>Kang et al., 第79回秋応物, 20a-225B-6 (2018).



**Fig. 1**(a) Schematic of the electrically controllable GaN/AlGaIn thermal emitter. Calculated peak emissivity as a function of applied voltages of devices with different thickness of p-GaN layer ( $t_p=0.3\ \mu\text{m}$  and  $0.5\ \mu\text{m}$ ) where the structural parameters of PC are lattice constant  $a=2.8\ \mu\text{m}$  and  $3.0\ \mu\text{m}$ , air-hole radius  $r=0.20a$  and  $0.22a$  are utilized, respectively. The inset indicates the amplitude of emissivity changes from the emissivity at 0V as a function of the applied voltages. (c) Experimental emissivity modulation spectra between 0V and -10V in the improved and previous devices.