Ag ナノ粒子の表面プラズモン共鳴を用いた GaN の発光増強機構

Photoluminescence enhancement mechanism of GaN using surface plasmon resonance with Ag nanoparticles

阪府大院工 [1]，京大院工 [2]，
○垣内晴也 [1]，松山哲也 [1]，和田健司 [1]，船戸充 [2]，川上養一 [2]，岡本晃一 [1]
Osaka Pref. Univ.[1], Kyoto Univ. [2]
○S. Kaito [1], T. Matsuyama[1], K. Wada[1], M. Funato[2], Y. Kawakami[2], K. Okamoto[1]
E-mail: kaito0620@pe.osakafu-u.ac.jp

1. はじめに

我々は Ag ナノ粒子の表面プラズモン共鳴を用いる際に、GaN 上に SiO_2(5 nm)を形成することで Ag ナノ粒子の劣化とそれによる消光を防ぎ、ダークモードである四重極子振動との共鳴を用いた GaN バンド端の紫外発光の増強に成功した[1]。発光増強機構を解明する際には、有限差分時間領域法(FDTD)で計算した局在電場増強がよく用いられるが、励起系との量子力学的相互作用であるパーセル効果に基づいた発光増強を再現することは困難である。そこで今回は FDTD 法によってパーセル効果を見積もり、実験で得られた発光増強を再現することを試みた。GaN と Ag ナノ粒子の間の酸化膜の影響についても検討した。

2. 実験

FDTD 法は Poynting for Optics（富士通)を用いた。Ag ナノ粒子の消衰スペクトルは平面波のパルス光を用いて計算した。GaN 中の励起子を想定した直径 5 nm の差分ガウシアン波形をもつ点双極子光源から放射された光のパワーを構造の上の面で検出し、近傍に置いた金属ナノ構造の有無でその強度を比較した。また、酸化薄膜の効果を検証するために、Ag と GaN の間の薄膜層(5 nm)の屈折率を変え、SiO_2 以外の薄膜を想定した計算も行った。

3. 結果と考察

FDTD 計算で得られた点双極子からの発光スペクトルを Fig.1(a)に示した。実験結果と同様に Ag ナノ粒子によって発光が増強している。点双極子の近傍に金属ナノ粒子があると、局在表面プラズモンの電場振動と共鳴することで、光アンテナ効果によって点双極子からの光放射が促進される。これが量子効果であるパーセル効果に相当し、FDTD でそれに基づく発光増強を再現できたのではないかと考えている。薄膜層の屈折率を変えて計算を行ったところ、GaN の屈折率（2.45)とのギャップが大きい薄膜ほど増強効果が高いことがわかった(Fig.1(b))。また GaN 上の Ag ナノ粒子が崩れる原因として、透明電極である ZnO を積層した際にも崩れなかったことから、Ag と GaN のフェルミ準位の違いによって Ag の電子が GaN に移動して起こっている可能性があり、さらに詳しい解析・検討を続けている。さらに今回の結果を踏まえて、InGaN/GaN 量子井戸の可視発光増強に展開する予定である。

[1] S. Kaito et al., Optics & Photonics International Congress (OPIC 2021), ICNN-P-01

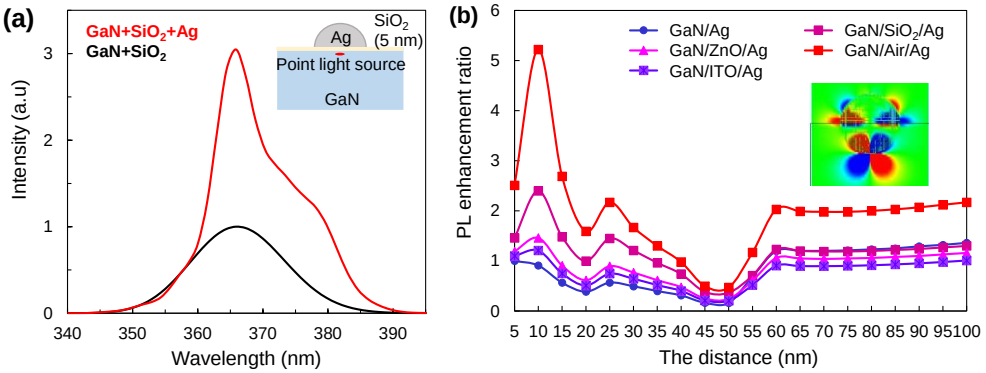

Fig. 1 FDTD calculations for (a) the radiation spectra from point dipole in GaN with/without Ag nanoparticles and (b) the enhancement ratios of the radiation intensities plotted against the distance between the point dipole and the interface.