

極低電流領域における微細発光素子からの 広帯域スクイズト光の発生

広島大学工学部 角屋 豊, 田中健一, 山西正道

Wideband squeezing of light intensity using small scale light-emitting diodes in a very low photon flux level
Yutaka Kadoya, Ken'ichi Tanaka, Masamichi Yamanishi
Faculty of Engineering, Hiroshima University

コヒーレント状態にある通常のレーザ光がもつ揺らぎはショット雑音レベルであり、光子数分布はポアソン分布となる。この状態における S/N 比は平均光子数の平方根に比例するため、ショット雑音は微弱光における S/N 比の限界を決める。この意味で微弱光、かつ広い周波数帯域で光子数雑音を SNL 以下に抑圧することが重要である。従来の研究においては、発光ダイオード(LED)を用いた場合には微弱光(光電流 $5\mu\text{A}$)であるが帯域が狭く($\sim 10\text{MHz}$)、あるいはレーザダイオード(LD)を用いた場合は広帯域($>1\text{GHz}$)となるが、光強度が強い(光電流 $\sim 5\text{mA}$)場合に限られていた。本研究では極低駆動電流において高効率かつ安定な雑音抑制が可能なLEDに注目し、雑音抑制帯域を広げるというアプローチにより微弱・広帯域サブポアソン光の発生を進めて来た。

定電流源駆動によるサブポアソン光発生においては、駆動電流の減少に伴って活性層へのキャリアポンプ雑音抑制帯域が低下する。広帯域を維持するためには素子面積の微小化が必要となるが、微小化プロセスに伴う表面再結合割合の増大によって発光効率が低下する。また LED は一般に発光再結合寿命が長く、雑音抑制帯域が狭い。これらの課題を解決する手法として、高ドープ分離ヘテロ閉じ込め(SCH)構造を活性層に採用することを提案し、実際に素子を作製した。また、検出効率を高めるため、LEDはフォトダイオード(PD)と一体化した。図1に素子面積 $15\mu\text{m} \times 15\mu\text{m}$ の素子を用いた場合の 77K におけるファノ因子の周波数依存性を示す。LEDの駆動電流は $220\mu\text{A}$ 、平均光電流は $62\mu\text{A}$ (効率 28%)である。低周波数領域では $1/f$ 的雑音のためファノ因子が高くなっているが約 $400\text{MHz} \sim 1\text{GHz}$ の広い範囲でファノ因子が 1 以下となり、サブポアソン化が起きている。一方、さらなる微小電流領域でのサブポアソン光発生を実現するため、面積を $6\mu\text{m} \times 6\mu\text{m}$ とした LED を作製した。この素子においては、表面再結合の影響を低減するため、活性層のドープ密度を $1 \times 10^{19}\text{cm}^{-3}$ とした。図2に、 77K における検出効率の注入電流依存性を示す。注入電流 $2\mu\text{A}$ で 20%以上(ほぼ飽和)、 $1\mu\text{A}$ でも 17%という高い伝達効率(内部量子効率は、その約 2 倍)が得られている。シンポジウムでは、 $1\mu\text{A}$ 領域でのサブポアソン光発生の実験についても報告する。

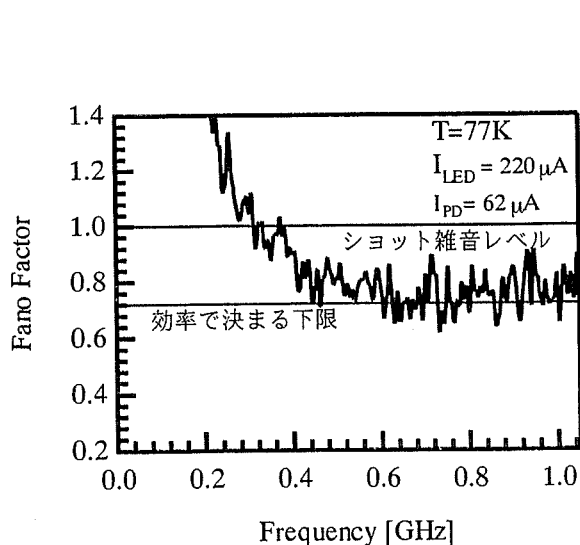


図1. ファノ因子の周波数依存性

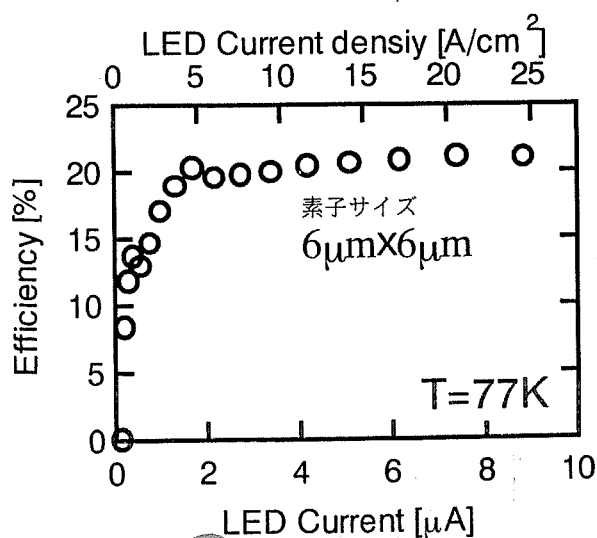


図2. 効率と注入電流依存性