

ナノ受光器の高インピーダンス終端と熱雑音抑制

Thermal noise suppression by high-impedance loaded nano-photodetector

NTT ナノフォトニクスセンタ¹, NTT 物性基礎研², NTT 先端集積デバイス研³

○野崎謙悟^{1,2}, 松尾慎治^{1,3}, 藤井拓郎^{1,3}, 武田浩司^{1,3}, 新家昭彦^{1,2}, 納富雅也^{1,2}

NTT Nanophotonics Center¹, NTT Basic Research Labs.², NTT Device Technology Labs.³

○K. Nozaki^{1,2}, S. Matsuo^{1,3}, T. Fujii^{1,3}, K. Takeda^{1,3}, A. Shinya^{1,2}, and M. Notomi^{1,2}

E-mail: kengo.nozaki.f.d@hco.ntt.co.jp

光送信器を含めたチップ内光情報転送の消費エネルギー低減のため、受信器の最小受信感度が鍵となる。このため、我々はInP フォトニック結晶(PhC)に微小な InGaAs 吸収層を埋め込むナノ受光器を検討してきた¹⁾。1 fF 以下の低容量のため、高い負荷抵抗で終端しても RC 帯域を維持しつつ効率的な電圧変換が可能であり、増幅器フリーの光受信が期待できる。このような高インピーダンス終端型の受光器では、熱雑音の抑制による高い信号雑音比(SNR)もまた期待できることから²⁾、今回、この SNR の実験評価と、最小受信光エネルギーの理論検討について報告する。

Fig. 1(a)に PhC 受光器の写真と測定系を示す。PhC 受光器(長さ 1.7 μm , 光感度 $\eta_{\text{pd}} = 0.9 \text{ A/W}$)に対して、負荷抵抗(p-InP, $R_{\text{load}} = 59 \text{ k}\Omega$)を直列接続し、光電流を電圧変換する。三端子形により、受光器へのバイアス電圧印加と共に、負荷抵抗両端

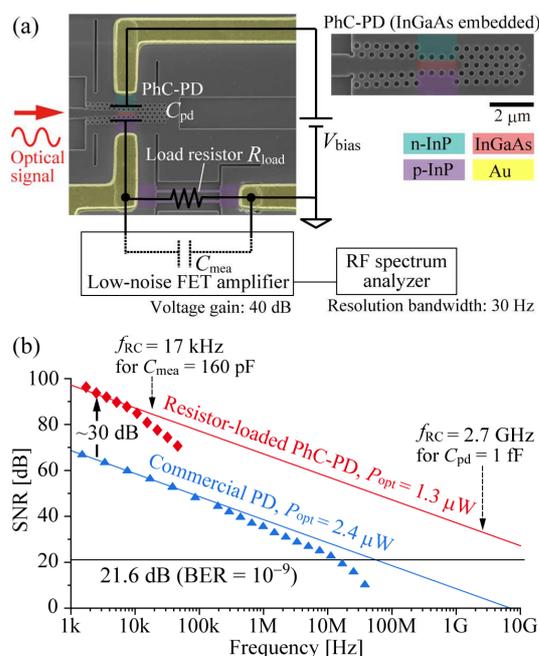


Fig. 1 (a) SEM image of resistor-loaded PhC-PD and experimental setup. (b) SNR for frequency. Red symbols show the experimental plots and the theoretical line for the PhC-PD ($\eta_{\text{pd}} = 0.9 \text{ A/W}$) with a 59-k Ω load resistor, while the blue symbols show those for the commercial PD ($\eta_{\text{pd}} = 0.65 \text{ A/W}$) with a 50- Ω load resistor. The black line denotes the SNR = 21.6 dB (BER = 10^{-9}).

の電圧検出を行う。正弦波変調した光信号を入射し、その電圧信号を低雑音 FET 増幅器と RF スペアナで検出した。Fig. 1(b)は周波数に対する SNR の測定結果である。市販の 50 Ω 終端された受光器と比べて、PhC 受光器は熱雑音抑制によって約 30 dB 高い SNR が得られた。測定系がもつ高い容量($C_{\text{mea}} = 160 \text{ pF}$)により測定可能帯域は 17 kHz に制限されたが、PhC 受光器自体の容量($C_{\text{pd}} < 1 \text{ fF}$)を考えると 2.7 GHz まで動作可能といえる。このとき、1 μW 以下の光パワーで BER= 10^{-9} に相当する SNR (= 21.6 dB)が期待できる。

上記のように、低容量な受光器では、高速かつ低パワー、すなわち低い光エネルギー(E_{opt})での受信が可能である。Fig. 2 に E_{opt} に対する SNR の計算結果を示す。C の低減は受信光エネルギーの低減につながり、PD 容量 $C_{\text{pd}} = 1 \text{ fF}$ では 74 aJ の微弱な光エネルギーの直接受信が理論的に期待できることがわかった。これは Fig. 2 挿入図に示す回路シミュレータでも確認された(SNR = $4Q^2 = 144 = 21.6 \text{ dBm}$)。

本研究の一部は科学技術振興機構 CREST (JPMJCR15N4)の援助を受けて行われた。

参考文献 1) K. Nozaki, et al., Optica, 3, 483, (2016), 2) K. Nozaki, et al., IEEE JSTQE 24, 4900111, (2018)

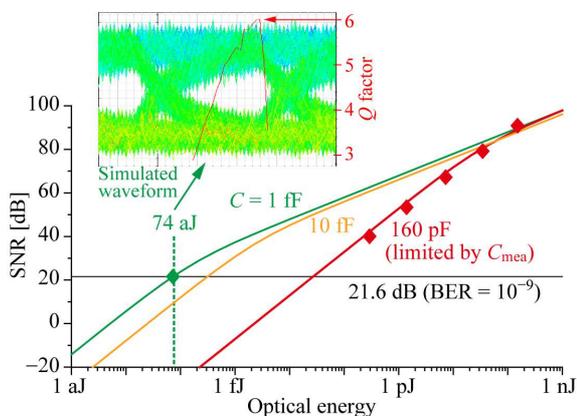


Fig. 2 SNR vs optical energy. Theoretical solid curves are shown for different capacitances. The red plots are experimental results. The green plot is a theoretical optical energy of 74 aJ for $C = 1 \text{ fF}$. The inset shows the simulated waveform of random-pattern reception for this energy ($C = 1 \text{ fF}$, $R_{\text{load}} = 10 \text{ k}\Omega$ and bit rate = 32 Gbit/s).