

修士論文概要書

Summary of Master's Thesis

Date of submission: 01 / 11 / 2012 (MM/DD/YYYY)

専攻名 (専門分野) Department	物理学及び応用 物理学専攻	氏名 Name	宮本 義人	指 導 教 員 Advisor	片岡 淳 印 Seal
研究指導名 Research guidance	放射線応用 物理学研究	学籍番号 Student ID number	5310A094 - 6		
研究題目 Title	深宇宙通信システムへの応用に向けたサブ・ガイガーモード単一光子検出器の開発				

[はじめに]

地球からの長距離通信に対する需要は日々高まっており、米国 NASA/JPL や欧州 ESA では火星くらいまでの距離 (~4 億 km) で数十~数百 M bps (bit/s) の通信速度をもつ、深宇宙通信システムの構築が検討されている。電波を利用した宇宙通信は通信速度が遅いため、近赤外波長帯のレーザー光を用いた深宇宙通信システムが現在有力となっている。遠い距離からの光信号を受光する場合、送信された光信号は宇宙空間で減衰され、光子検出器に到達するときには単一光子程度の非常に微弱な光信号となる。従って、深宇宙通信の分野では、微弱な光を検出することができる単一光子検出器の開発が強く望まれている(図 1 参照)。

これまでに様々な単一光子検出器が開発されているが、特に通信波長帯では、安価・コンパクト・低消費電力な特徴をもつ InGaAs アバランシェ・フォトダイオード(APD)検出器が注目されている。通常は、InGaAs APD をガイガーモードで駆動させて光子を検出する。ガイガーモードとは、ブレイクダウン電圧以上の印加電圧を APD にかける手法であるが、アフターパルス確率・暗計数率が高いなどの問題がある。

そこで、我々は深宇宙通信システムへの応用に向けて、サブ・ガイガーモード InGaAs APD 単一光子検出器の開発を行なっている。サブ・ガイガーモードとは、ブレイクダウン電圧より低い印加電圧で APD を駆動させる手法であり、光子検出器のアフターパルス確率・暗計数率を低減させることが期待できる。本論文では、サブ・ガイガーモード InGaAs APD 検出器の性能評価及び、深宇宙通信システムへの応用に向けた検証実験について報告する。

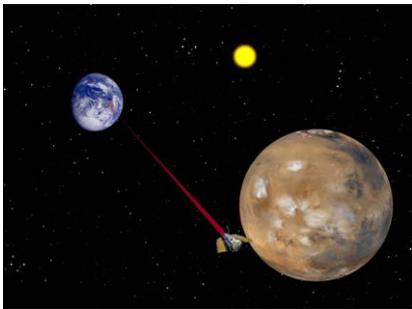


図 1 深宇宙通信システムの概観

(<http://www.aao.gov.au/lasers/concept2.jpg> より抜粋)

[光子検出器性能評価]

数種類の InGaAs APD のなかで、熱ゆらぎの影響で発生する暗電流が最も小さい Princeton Lightwave 社製 InGaAs APD (Model PGA-300) を使用して、サブ・ガイガーモード InGaAs APD 単一光子検出器を組み上げた(図 2 参照)。そして、組み上げた光子検出器の性能評価(光子検出効率・暗計数率・タイミングジッター・アフターパルス確率・最大カウントレート)をおこなったところ、光子検出効率は 0.21% (@暗計数率: 5.6[cps])、タイミングジッターは 2[ns]、アフターパルス確率は 4.0[%] ($\tau_a=0$ [ns])・2.9[%] ($\tau_a=100$ [ns])、最大カウントレートは 1.9[MHz]となった (τ_a : デッドタイム)。この結果から、最大通信速度を試算したところ、深宇宙通信システムで提案されているガイガーモード検出器よりも高い最大通信速度(64[slot/symbol]で約 4.5[Mbps])を達成できると試算された。また、サブ・ガイガーモードで期待される通り、検出器のアフターパルス確率・暗計数率は非常に低くなった。

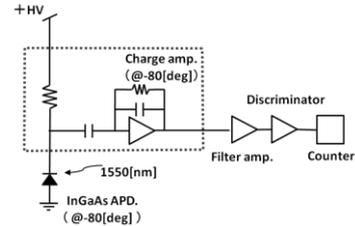


図 2 サブ・ガイガーモード InGaAs APD 検出器と読み出しシステム
[深宇宙通信システムの検証実験]

組み上げたサブ・ガイガーモード InGaAs APD 単一光子検出器を用いて、パルス位置変調(PPM)通信でのビットエラーレート(BER)を測定した。まず、微弱な光まで減衰させたパルスレーザー光を APD に入射する。ディスクリミネーター出力信号をロングメモリオシロスコープで記録して、データ解析をおこなうことで BER を測定した。Slot 幅は 100[ns]、Symbol 繰り返し周波数は 10[kHz]に設定した。その結果、Symbol あたりの Slot 数を増やすことで BER を低減させることができ、PPM 信号受信の原理検証実験に成功した(図 3 参照)。また、光子検出器の暗計数率が低いことから、Symbol あたりの Slot 数を増やしても、BER は理論曲線とほぼ一致する結果が得られた。

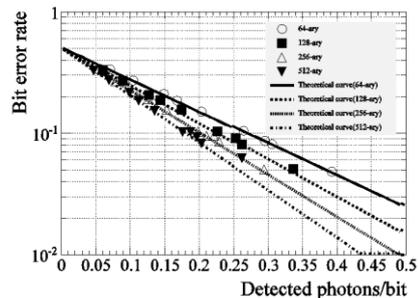


図 3 ビットエラーレート測定結果

[まとめと今後の課題]

本論文では、サブ・ガイガーモード InGaAs APD 単一光子検出器を新たに開発し、性能評価をおこなった。その結果、深宇宙通信で提案されているガイガーモード検出器よりも、高い最大通信速度が期待できることを示した。実際に、組み上げた光子検出器の BER を測定したところ、Symbol あたりの Slot 数を増やすことで BER を低減させることができ、PPM 信号受信の検証実験に成功した。また、光子検出器の暗計数率が低いため、Symbol あたりの Slot 数を増やしても、BER は理論曲線とほぼ一致する結果が得られた。今後は、サブ・ガイガーモード検出器の検出効率・最大カウントレートを向上させて、より長距離でより高速な深宇宙通信システムの開発を目指す。また、誤り訂正処理も含めたビットエラーレートの導出もおこなう。

研究業績

- 宮本義人 辻野賢治 他、第 71 回応用物理学学会講演会 口頭発表 14p-E-14
- 宮本義人 辻野賢治 他、第 72 回応用物理学学会講演会 口頭発表 30a-ZR-10
- 宮本義人 辻野賢治 他、第 25 回量子情報技術研究会 ポスター発表 42
- 辻野賢治 宮本義人 他、第 57 回応用物理学関連連合公演会、口頭発表、18a-L-1
- 辻野賢治 宮本義人 他、第 22 回量子情報技術研究会 口頭発表
- K. Tsujino, Y. Miyamoto et al: UQCC2010, Poster, 2010. 10
- K. Tsujino, Y. Miyamoto et al: QCMC2010, Poster, 2010. 7