

# 卒業論文概要書

CD

2010年01月提出

学籍番号 1G06K060-9

所属学科	応用物理学科	氏名	宮本 義人	指導員	片岡 淳 印
研究 題目	量子情報通信へ向けた単一光子検出器の開発				

## 【はじめに】

現在の暗号技術は、解読するのに膨大な計算量を必要とすることから安全とされてきた。しかし、もし量子コンピュータが完成したら、スーパーコンピュータで宇宙の年齢(137億年)ほどかかる計算でも、数分で解答が出てしまう可能性がある。その場合、現在の暗号技術の安全性が疑われる。その問題を解決するために、量子鍵配布システムの研究が進められている。量子鍵配布では光子を送受信する必要がある。現在までにさまざまな光子検出器が開発されてきている。その一つとして、Sub-Geiger mode (サブ・ガイガーモード) 動作の単一光子検出器が提案されている。

Sub-Geiger mode動作では、ブレイクダウン電圧より低いバイアス電圧を用いる。Sub-Geiger mode動作において、暗電流とアフターパルス確率は軽減するが、発生する電荷数は極端に少ないので、少ない電荷を読み出せる低雑音電荷積分アンプが必要となる。本論文ではSub-Geiger modeで動作する光子検出器の性能を調べ、これを用いた単一光子検出器の実現が可能であるかを検証する。

## 【実験方法】

### (1) APDの温度特性(増幅率、暗電流)の測定

光子検出器の検出効率を高めるために、高ゲイン(増幅率)・低暗電流のInGaAs APDが必要である。本論文では浜松ホトニクス製とNEC製のInGaAs APDを比較した。-40°Cにおいて、ゲイン100になるバイアス電圧での暗電流が低いほど、APDの性能は良い。

### (2) 電荷積分アンプの雑音測定

InGaAs APDから出てくる電荷を電圧に変換するために、低雑音電荷積分アンプを用いる必要がある。本論文ではクリアパルス製(Model 581K)とAMPTEK製(Model A250)の電荷積分アンプを比較するため、それぞれ雑音を測定した。雑音が少ない電荷積分アンプほど性能は良い。雑音の測定はクリアパルス製(Model 581K)で100[keV]、AMPTEK製(Model A250)で200[keV]のエネルギー損失(シリコン等価)に相当するテストパルスを入れて行った。電荷積分アンプから出力される信号をクリアパルス製整形アンプで増倍、整形してからADCに入れて、ピーク幅から雑音による広がり $\sigma$ (シリコン等価: keV)を試算した。

### (3) 光子検出器の検出効率測定

(1)(2)で一番性能が良いと思われるInGaAs APDと電荷積分アンプを用いて光子検出器を組み上げる。光子検出器は暗電流を低減するために-40°Cで動作させる。入射する光子は、波長1550[nm]のレーザーダイオード(連続光)の強度を光子レベルまで減光することで準備した。組み上げた光子検出器全体の雑音 $\sigma$ に対して $5\sigma$ 、 $4\sigma$ 、 $3\sigma$ 、 $2\sigma$ を閾値に設定し、赤外光を当てた時と当てていない時とのカウント差から検出効率を測定した。またダークカウント(光を当てていない時の一秒間のカウント数)が少なく検出効率が高い光子検出器ほど性能は良いので、ダークカウントに対する最大検出効率の割合を調べて、最適条件を決定した。

## 【実験結果】

InGaAs APDはNDL5531P(NEC製)が、より優れた性能を示した。NDL5531Pにおいて、ゲイン100になるバイアス電圧での暗電流は0.785[nA]、ブレイクダウン電圧は68.32[V]であった。また、クリアパルス製電荷積分アンプの雑音 $\sigma$ は202[electrons RMS]、AMPTEK製電荷積分アンプの雑音 $\sigma$ は331[electrons RMS]であり、性能の優れた電荷積分アンプはクリアパルス製であった。これらを組み上げた結果、光子検出器全体の雑音は338[electrons RMS]が得られた。

測定のための最適条件を決定し、バイアス電圧は66[V]、閾値は $3\sigma$ で130[mV](1014[electrons]相当)に設定した。この条件で、検出効率は1.21[%]まで到達した。最適条件でのダークカウントは27[kHz]であった。また、バイアス抵抗で暗電流による電圧降下が起こるため、バイアス電圧67[V]以上での正確な検出効率測定は困難であった。(Fig.1、Fig.2 参照)

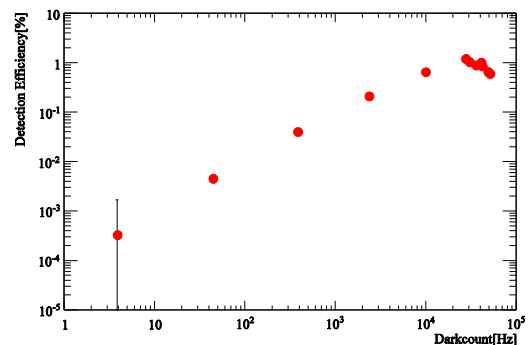


Fig.1 ダークカウント vs 検出効率

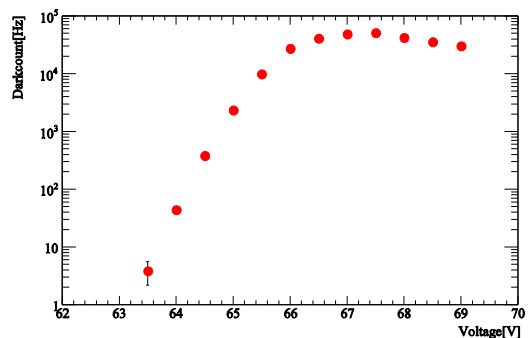


Fig.2 電圧 vs ダークカウント

## 【まとめ】

InGaAs APDを用いて、Sub-Geiger領域で光子を検出でき、検出効率の最大値は1.21[%]に到達した。また、現在の光子検出器ではバイアス抵抗による電圧降下のため、67[V]以上での正確な検出効率測定は困難である問題が判明した。今後は、InGaAs APDを-100°Cまで冷却して暗電流とバイアス抵抗での電圧降下を低減させ、検出効率のさらなる向上を目指す。また、波長1550[nm]のパルスレーザーを用いてより精密な検出効率の測定を行う。今回のような連続光を減光した場合、電荷積分アンプの時間分解能を超えて光子が立て続けに到来する確率があるので、周期的な光のほうが精密な測定が可能となる。