

## 量子鍵配送の高速化に向けた光検出器の研究開発

### Development of photon detectors for high-speed quantum key distribution

北海道大学 富田 章久

Hokkaido Univ.

E-mail: tomita@ist.hokudai.ac.jp

量子鍵配送 (QKD) は最も商用化に近い量子情報技術と考えられている。社会実装に向けて応用範囲を広げるために鍵生成の高速化が望まれており、本研究開発でも現在の2-3倍の鍵生成レートを目指している。光検出器はシステムの性能を決める重要な要素である。QKD用光検出器は高検出効率、低雑音、高速応答、低ジッターなことが必要である。超伝導光子検出器 (SSPD) はこれらの要求を満たし、既に高性能 QKD システム実験に用いられている。しかし、SSPD は液体ヘリウム温度以下に冷却する必要があり、コストの増加と装置の大型化を招く。そのため、商用 QKD 装置では半導体を用いた光検出器が望ましく、本研究開発でも半導体デバイスを対象とする。

これまで国内で開発された QKD 装置のクロック周波数は 1GHz 程度である。本研究開発ではクロック周波数 2.5GHz に対応できるよう、100ps 程度の時間ウィンドウでの光子検出を実現する。また、現在、光子検出用のアバランシェフォトダイオード (APD) は国外で生産されているため、サプライチェーンの観点から国産化を行う。QKD の別の方式である連続量 (CV) QKD は高い波長選択性から通常の光通信と同一ファイバコアで伝送することが可能である。CV-QKD で用いる光検出器はコヒーレント光通信でも使われているバランスドホモダイン型であるが、量子雑音限界に近い低雑音が必要となり、従来伝送速度は低く抑えられてきた。本研究開発ではホモダイン検出器の帯域を 2GHz 以上、回路雑音をショット雑音の 1/8 以下とする高帯域化も行い、GHz 程度のクロック周波数でのシステム動作を実現する。

APD を用いた光子検出器の高速化では APD がゲートパルスの継続時間内に十分な増倍を受ける確率が低下するため光子検出に伴う信号が小さくなる。高速化のためには検出回路の高感度化が必要となり、雑音の主原因であるゲート信号を効果的に除去できる信号波形、回路を開発する。

低雑音、高効率 APD を実現するには欠陥の少ないエピタキシャル成長、トンネル電流やエッジブレイクダウンが発生しないような電界強度設計を行い最適なエピタキシャル層を作成する。また、ガードリング構造などデバイス構造の最適化を行う。

ホモダイン検出器については高電流を流すことが可能な PIN フォトダイオードの開発と、高いゲインを有するトランスインピーダンス回路の開発を行って、高速化を実現する。

以上のような研究開発を通して QKD 用の光検出器の高速化を進め、高い鍵生成レートをもつ QKD 装置の実現に貢献する。なお、全体の取りまとめと光子検出器開発と素子評価を北大が、APD 開発を浜松ホトニクスが、ホモダイン検出器を学習院大がそれぞれ担当している。

本研究は総務省委託研究「グローバル量子暗号通信網構築のための研究開発」の下で実施されている。