

freespace中赤外秘匿通信を可能にするSNSPDベースシステム

開発中の安全な量子光通信システムは、ほとんどは光ファイバ伝送に依存する。しかし、戦場での軍用通信など、アプリケーションによっては、そうしたシステムの freespaceバージョンが必要になる。中赤外の大气透過ウインドウ(中赤外:例えば、 $10\mu\text{m}$ 付近の波長)のために、そうしたシステムは高速中赤外シングルフォトンディテクタを必要とする。

超伝導ナノワイヤシングルフォトンディテクタ(SNSPD)は、潜在的にそのようなアプリケーションに適している。しかし、SNSPDと結合する freespace シングルフォトン検出システムは、予め中赤外域で動作するように造られていない。

この度、米マサチューセッツ工科大(MIT)のグループが、SNSPDに加えて低温保持装置と光学システムを開発した。狙いはそのような中赤外システムの実現である。その方向に沿った一歩として、研究グループはすでに、近赤外 $1.55\mu\text{m}$ 波長(この波長そのものは、SNSPDを用いた高効率 freespace 極低温システムでこれまでに使われたことがない)でこのシステムの実証を行っている。

低温保持装置と光学システム

中赤外シングルフォトン光通信システムでは2Kを下回る低い基準温度であるため、極低温システムがセットアップの不可欠の要素となる。たとえ光学的な波長ウインドウがあっても、この温度に達しなければならない。低温保持装置は2つのアセンブリで構成されている。1つは、主にシステムの冷却に関与する。もう1つは、SNSPDチップとレンズを収容している。この第2の

アセンブリは直接光学テーブルにマウントするため、システム全体を冷却する前にアライメントを行うことができる。

システムは、パルスチューブ冷凍クーラーによってあらかじめ2.9Kまで冷却しており、さらに収着冷凍装置で1.7Kまで冷却される。パルスチューブは振動するので、SNSPDチップはパルスチューブから機械的に分離されている。無酸素、高温伝導性(OFHC)コパーが真空グリース(これは熱伝導性が優れている)で多くのパーツに接触するようになっており、これによって冷却効果の最大化が保証される。輻射シールドと10層の超断熱シールドが、外部環境からの熱負荷最小化に役立つ。

低温保持装置の光の窓は直径25mm。2つの光学フィルタが、不要な光を制限する。不要な光は、SNSPDチップの過熱とともに、無用の光雑音を出す。

光は3枚のレンズ(低温保持装置内のレンズも含む)を使ってチップに届く。結果として得られるチップの視野は約 $200\mu\text{m}$ 。 $1.55\mu\text{m}$ 波長テストビーム(究極的な中赤外ビームの代わり)は直径12.7mm。システム全体の光学特性は、所望の $10\mu\text{m}$ 波長に簡単に移行するように設計された(図1)。

結果

実証実験は、より小型の $8\times 7.3\mu\text{mNbN}$ SNSPDを使い、100nm厚ナノワイヤ、50%フィルファクタで行われた。システム検出効率(SDE)は、ディテクタで計測されたフォトンカウントレート(ダークカウントを除外)とファイバ光源で計測されるフォトンフラックス(光子束)

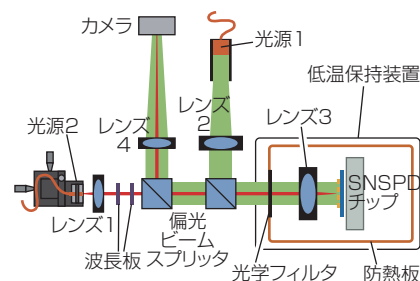


図1 安全なシングルフォトンベース通信の実証システムに含まれるのは、ファイバ光源(光源2)、光学素子、低温保持装置、2K以下に冷却される超伝導ナノワイヤシングルフォトンディテクタ(SNSPD)。デモは $1.55\mu\text{m}$ 波長で行われるが、目標は $10\mu\text{m}$ 付近の中赤外波長を使って安心できる長距離 freespace 通信を行うことである。

との比率で定義されており、SDEはSNSPDのバイアス電流の関数として測定された。SDEは、バイアス電流がディテクタのスイッチ電流に近づいたときに最大1.64%に達した。光システムが結合効率56.5%だったので、SNSPD自体の検出効率は約2.9%だった。

研究グループは多くの改善案を持っており、ディテクタに関してさらに光システムを最適化すること、低温保持装置やチップマウントの熱特性の一層の最適化、中赤外域での感度向上のためにタングステン・シリサイドを使用することなどが含まれる。セットアップを多チャンネル構成にアップグレードすることにより、中赤外域で100Mbit/s データ伝送が可能になる。用途は、海洋での船舶間の秘匿通信だけでなく、宇宙と地上との通信さえも考えられる。

(John Wallace)

参考文献

- (1) F. Bellei et al., Opt. Express (2016); doi: 10.1364/OE.24.003248