

Redefining Measurement

# Use Case: Quantum Information Science

**ID900 TCSPCとID281 SNSPD組み合わせて、  
2倍および4倍のジョイント・スペクトルをリアルタイムで測定。**



お客様：オレゴン大学

研究分野：量子情報科学、量子情報工学

国：アメリカ

Customer Need



2倍と4倍の合同スペクトル測定をリアルタイムで行う。

Solution



量子効率 85% 以上の ID281 SNSPD と プログラマブル・タイム・タガー ID900 の組み合わせ

Results



前例のない解像度、効率、準リアルタイムの測定

## お客様のニーズ

このシステムを導入する前に、私たちは色分散を利用して光の周波数を到達時間でマッピングする飛行時間型分光器 (TOFS) を開発しました。このプロセスにより、単一光子の波長をある範囲で正確に測定ことができ、この測定の精度は検出器の時間分解能によってのみ制限されます。

私たちはこれまで、比較的低いダークカウントレートを維持するために、40ピコ秒のタイミングジッタと12%の量子効率を持つSPADベースの検出器とタイムタガーを使用していました。この検出器は量子効率が低いため、十分なデータポイントを集めるためには数十分の時間が必要でした。また、スペクトルの一致は後処理で計算され、数十億のデータポイントをアルゴリズムにかけ、数千の一致を抽出していました。

## ソリューション

ID Quantique社のID281超電導ナノワイヤ単一光子検出 (SNSPD) システムをテストした結果、我々の要求事項をすべて満たしていることがすぐに確認できました。最も重要なことは、このシステムが非常に高い検出効率、非常に低いダークカウントレートおよび低いタイミング・ジッタを有していることです。これにより、単一光子レベルでの高感度測定を、高いタイミング精度で行うことができました。極低温システムと統合されたヘリウム・コンプレッサーは、クローズド・サイクルで動作します。また、24時間ごとに1時間未満の短い測定中断があるだけで、自動的に連続稼働することができ、使いやすさが大幅に向上しています。

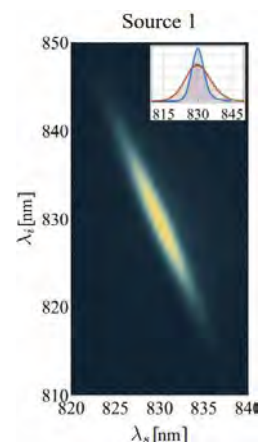
付属のタイムタガー「ID900」も期待以上の性能を発揮しました。この機器はFPGAベースで、オンボードで多くの操作を行うことができますが、これは我々の知る限り、現在他社では提供していません。

## 成果

IDQ社のSNSPDとタイムタガーで装置をアップグレードしたため、我々のセットアップは大幅に改善されました。まず、実際の量子効率の高さから、SNSPDはコインシデンス実験に最適なものとなりました。さらに、タイムタガーの使い方を学ぶことで、これまで考えられなかった無数の可能性が生まれました。

同時計数をFPGAボード上で直接計算できるようになったことで、実際に同時計数となった事象のみを考慮することができるようになり、解析するデータ量を数桁減らすことができました。その結果、1秒以内に十分なデータを集めることができ、ジョイント・スペクトルを準リアルタイムで得ることができるようになりました。

右図は、この実験装置で得られたJSI (Joint Spectrum Intensity) です。この方法は数年前から使用されていますが、IDQが導入した装置により、効率性の点で最先端の測定が可能になりました。



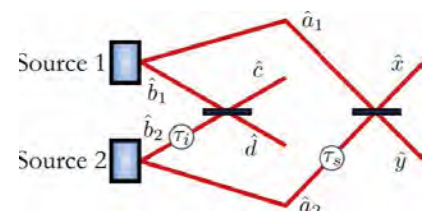
“

IDQのSNSPDとタイムタガーで機器をアップグレードした後、我々のセットアップは大幅に改善されました。まず、実際の量子効率の高さから、SNSPDは同時計数の実験に最適なものとなりました。さらに、タイムタガーの使い方を学ぶことで、以前には考えられなかった無数の可能性が開けました。

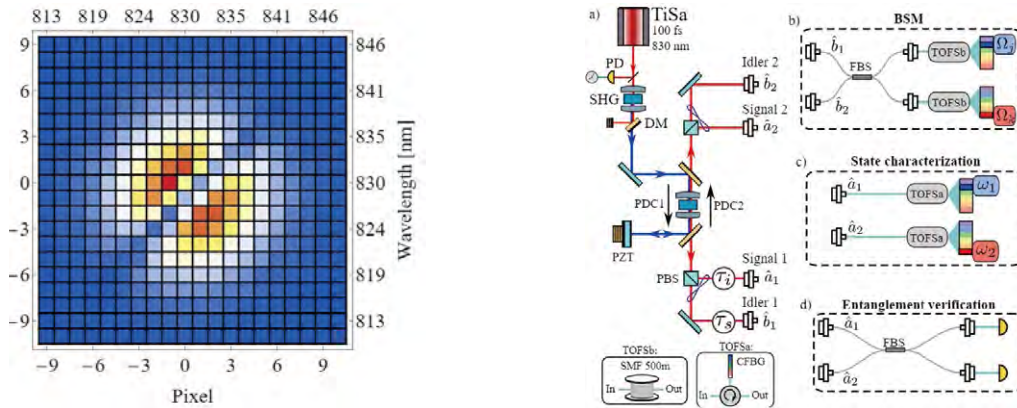
ヴァレリアン・ティール博士  
オレゴン大学ポスドク研究員

## 4倍速計測

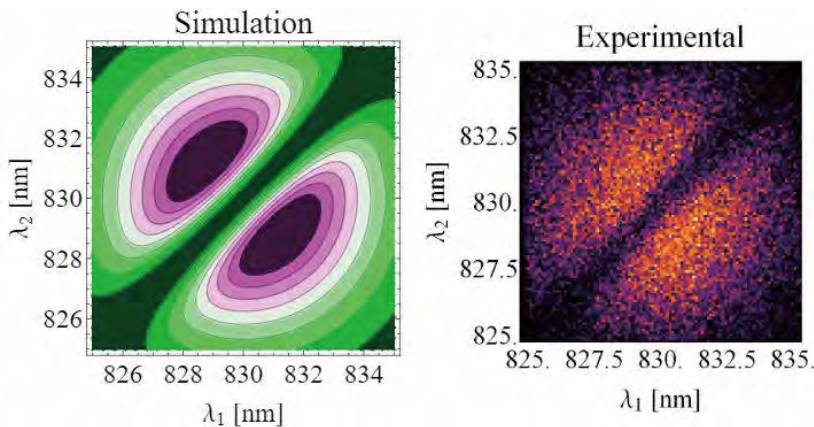
光子を数えるとき、検出される確率は検出器の数の累乗に反比例します。そのため、4重に検出されると、1重に検出されるよりも16倍も確率が下がることになり、量子効率の高い検出器が必要となります。過去には、4つの光子が干渉すると、そのうちの2つの光子の間のもつれが、もつれを共有していない光子に移るという「量子もつれの交換」実験を行ったことがあります。アイドラーと呼ばれる各光源からの1つの光子を組み合わせ、偶然の一致を検出すると、シグナルと呼ばれる外側の2つの光子をもつれた状態に投影します。



この測定には4回のフォールド・コインシデンスが必要です。これまでの、単一光子APDと2つのTOFSを用いてスペクトル分解能を実現していました。今回、ID281とID900にアップグレードしたことで、取り込み時間を5分の1に短縮することができました。さらに、ID900を使用することで、4つのTOFSを接続し、4倍のスペクトルの一致を計算することができました。カウントレートは非常に低いですが、それでも数ヘルツ以上あり、SNSPDの高い効率性なしには達成できない実験が可能になりました。

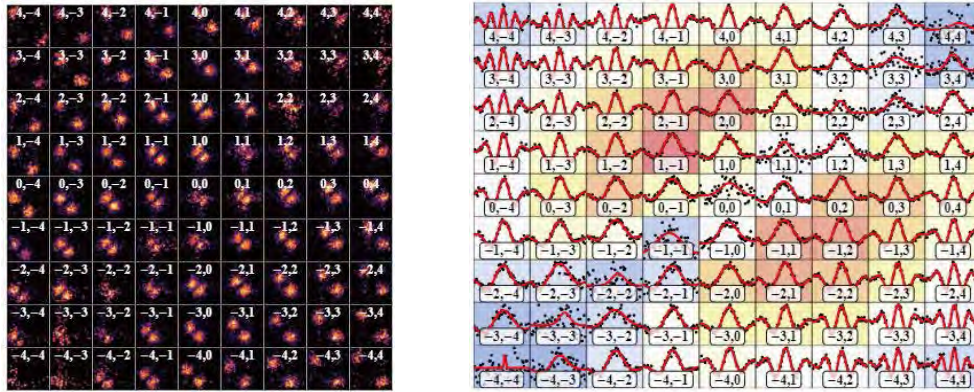


上の図では、右側に異なる測定構成の実験装置を示しています。ここにあるすべての検出器は、ID281システムのSNSPDです。左側は、Hong Ou Mandel干渉を受けた独立した単一光子間の2回の同時計数マップです。SNSPDとTOFSでは、1つのスペクトルビンが約2nmの幅であるため、粗いスペクトル分解能が得られることがわかります。これらの測定は、実験に使用された装置のおかげで同時に達成されました。



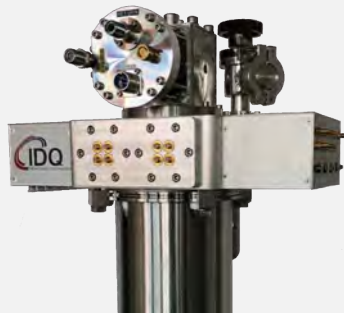
上の図は、2つのアイドラー光子の偶然の一致によってもたらされる信号状態のJSIを、シミュレーションと実験で求めたものです。このケースでは、ID900は高解像度モードで動作します。これは最も損失の多い実験ですが(99%以上)、カウントレートはまだ巨視的で、毎晩の測定で50,000以上の4倍スペクトルの一致が得られています。これは、解像度の低い検出器や、同時計数を計算しない別のタイプのタイムタガーでは到達できないと考えられます。私たちは、偶然性を後処理で計算する古いタイムタガーから受け継いだアルゴリズムをアップグレードすることで、測定中のデッドタイムがほとんどなくなることに気づきました。以前は、撮影の50%が偶然性の計算に費やされていましたが、ID900では内蔵のFPGAボードで自動的に偶然性をフィルタリングしています。





左図は、アイドルステージでどのピンが予告されるかによって、予告されるJSIが異なることを示しています。複数のベルの状態が同時に取得されています。右図は、HOM型の実験で、前触れのある信号光子を結合し、その遅延をスキャンしたものです。通常のHOMのディップではなく、どの周波数ピンが予告されたかに応じた周波数で干渉が見られます（左図）。この実験は、以前は1秒間に数カウントしかできませんでしたが、今回のアップグレードで100Hzを超えるカウントレートが可能になりました。

## MEET THE PRODUCT



ID281 Superconducting Nanowire



ID900 Time Controller Series

詳細はこちらをご覧ください：

- [Heralding multiple photonic pulsed Bell-pairs via frequency-resolved entanglement](#)
- [Spectrally-resolved four-photon interference of time-frequency entangled photons](#)