

国立研究開発法人 情報通信研究機構

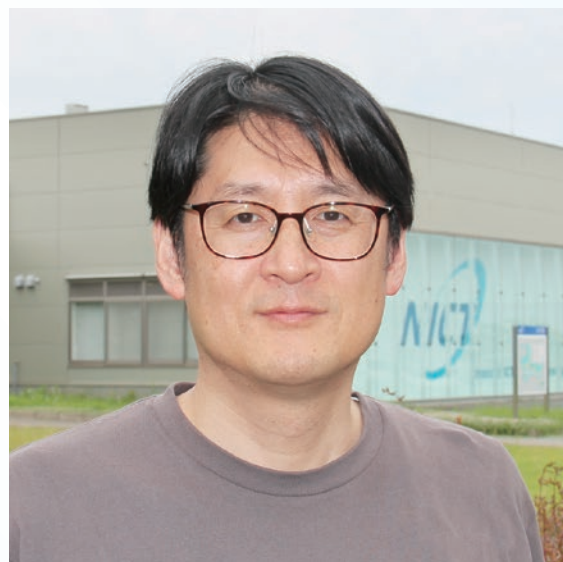
未来ICT研究所 神戸フロンティア研究センター 超伝導ICT研究室 室長

先端ICTデバイス研究開発推進センター 副研究開発推進センター長

三木 茂人 様

今回のインタビューは、情報通信研究機構未来ICT研究所神戸フロンティア研究センターを訪ね、三木 茂人先生に超伝導ナノストリップ単一光子検出器 (SNSPD) のご研究についてお話を伺いました。

経 歴	2026年 4月 - 現在	国立研究開発法人情報通信研究機構、先端ICTデバイス研究開発推進センター、副研究開発推進センター長
	2023年 4月 - 現在	国立研究開発法人情報通信研究機構、超伝導ICT研究室、室長
	2015年 4月 - 2023年3月	国立研究開発法人情報通信研究機構、主任研究員
	2007年10月 - 2015年3月	独立行政法人情報通信研究機構、主任研究員
	2005年10月 - 2007年9月	独立行政法人情報通信研究機構、研究員
	2003年 4月 - 2005年9月	独立行政法人科学技術振興機構、戦略的創造研究推進事業、研究員
学 歴	2000年 4月 - 2003年3月	神戸大学、自然科学研究科博士後期課程、システム機能科学専攻



「**私自身は「超伝導ナノストリップ単一光子検出器 (SNSPD: Superconducting Nanostrip Single-Photon Detector)*」と呼ばれる、光の最小単位である「光子(フォトン)」を極めて高い感度で検出するデバイスの研究をしています。**」

▶ 先生のご研究について
ご紹介ください。

私が所属する超伝導ICT研究室では、超伝導技術を用いて将来の情報通信に役立つ電子・光デバイスの開発に取り組んでいます。その中で、私自身は「超伝導ナノストリップ単一光子検出器 (SNSPD: Superconducting Nanostrip Single-Photon Detector)」と呼ばれる、光の最小単位である「光子(フォトン)」を極めて高い感度で検出する光子検出器の研究を行っています。具体的には、数ナノメートルという非常に薄い超伝導窒化ニオブチタン(NbTiN)薄膜を加工し、ストリップと呼ばれる構造を形成します。そこに単一光子が入射すると、超伝導状態が局所的に壊れ、一時的に電気抵抗が生じます。この変化を電気信号として読み取ることで、光子を一個単位で検出する仕組みです。SNSPDは、現在、世界中で活発に研究が進められています。量子情報通信や量子計算の分野では、いまや欠かすことのできない基盤技術の一つとなっていますし、他にも、LiDAR、深宇宙光通信、細胞の微弱な光の観察など、次世代の幅広いアプリケーションを支える技術として期待されています。光子検出技術にはさまざまなものが存在しますが、波長1550nmの通信波長帯における単一光子検出においては、SNSPDが、検出効率、低暗計数、時間分解能の面で世界最高性能を示す検出器として位置づけられています。

私が情報通信研究機構に入ってから取り組んできたのは、当時提案されて間もない

SNSPDをゼロから立ち上げること、そして、量子情報通信技術をはじめとするさまざまな先端アプリケーション分野のユーザーが実際に使える実用システムの開発を推進することでした。SNSPDを動作させるためには、SNSPDを極低温、具体的にはマイナス270℃付近まで冷却する必要があります。この点が、ユーザーにとって導入のハードルとなりがちとなります。そこで、機械式冷凍機を用いたSNSPDシステムを開発し、ユーザーが極低温冷却を意識せずに扱えるような汎用性の高いシステムを開発しました。量子通信や量子計算の研究現場にとどまらず、多様な分野においても実際に利用されるようになり、日々の研究開発を支える重要なツールとして活用されています。光子を扱う先端技術分野においては、「どこまで高性能な光子検出器を使えるか」が、研究開発の成否を左右されると言っても過言ではありません。我々が開発した検出システムを用いることで、これまで不可能だった新しい領域の技術開発が可能になり、世界の研究の最前線を押し上げる原動力になっていると感じています。

▶ ご研究を始められたきっかけと、
現在に至る経緯についてご紹介ください。

振り返ると随分前の話になりますが、学生時代は工学部の情報知能工学科に所属し、主に情報処理やプログラミングなどを学んでいました。転機は、大学4年生で研究室に配属された時です。当時の指導教員がマイクロ波の無線送電を研究しており、こちらの研究員と共同研究を実施していたご縁で、学生だった1998年に初めて当時の超伝導研究

室を見学させていただきました。これが、超伝導デバイスに関する研究に携わるきっかけとなりました。それまで学んできた分野とは大きく異なりましたが、国の研究機関で世界最先端

の研究ができる環境に強く魅了され、研修生として研究をさせていただけることになりました。博士後期課程では、神戸大学の連携大学院制度による講座で、こちらで研究をさせていただいて博士号を取得するという、少し特殊なルートを歩ませていただきました。博士号を取得した後は、一度ここを離れ、JSTの戦略的創造研究推進事業の研究員として、当時の大阪府立大学、現在の大阪公立大学で、2年半ほど別のデバイス研究に従事しました。そこでも超伝導材料は扱っていましたが、今とは少し異なる機能を持つデバイスの研究でした。

2001年頃、現在SNSPDとして知られる光子検出器の基本原理解が世界で初めて海外の研究機関から提案されました。当時はまだ技術開発が世界的に見ても初期段階で、発表され始めた論文を目にするうちに、「おもしろそうだな。自分でこの新しいデバイスを形にしてみたい」という衝動に駆られたのです。では、日本国内でこの光子検出器の研究をするにはどこが最適かと考えた時、行き着いた答えは、自分が在籍していたこの超伝導研究室でした。なぜなら、ここにはSNSPDにおいて必要となる、数nm厚の高品質超伝導NbTiN薄膜の成膜技術があったからです。さらに、それをナノメートルサイズに微細加工できるサムコさんの装置など、クリーンルームの設備が当時から整っていました。当時の超伝導研究室の室長に「新しくSNSPDの研究を立ち上げたい」と相談すると、偶然にも室長自身も同じくSNSPDに興味を持っており、研究をスタートさせたいと考えておられたのです。2005年10月に職員として入所させてい

ただいた当初はNICTでSNSPDの研究が立ち上がっていない状態でしたが、私が最初の担当者として、NbTiN薄膜の最適化から加工プロセスの確立、そして極低温で駆動するシステム全体の組み上げまで、文字通りゼロからの立ち上げを行いました。

▶ ご研究の今後の展望について お聞かせください。

超伝導ナノストリップを用いた光子検出技術であるSNSPDは、性能面ではかなり理想的な状態に近づいています。検出効率、95%以上を達成し、ほぼ100%に近い値を達成できるようになりました。また、偽信号となるノイズ、いわゆる暗計数も非常に低く抑えられています。一部の成熟した技術については、技術移転も果たしており

ますが、一方で、技術の進歩に伴い、新しい要望も出てきています。現状のSNSPDシステムでは、機械式冷凍機の中

に導入し冷却動作できる検出器の数は、数個から多くても10個程度でした。しかし、量子技術の発展により、今後は数百個、数千個規模以上の検出器が必要になってくると考えています。極低温冷凍機という限られた冷却能力の中に、いかに多くの検出器を高い集積度で組み込むかが、新たな挑戦になっています。また、検出器を2次元格子状に多数配置することで、単一光子レベルの超高感度を持つ2次元イメージングセンサー、いわば光子カメラへの応用なども検討しています。

また、最近の興味深い成果として量産性の高い光子検出器の実現に向け、私たちの研究室では、ストリップ幅を大幅に広くしても高性能な単一光子検出が可能であることを世界で初めて実証しました。従来、高性能なSNSPDの作製には、線幅100 nm以下の極めて細いナノストリップ加工が必要であり、

電子線描画装置を用いた高度かつ時間を要する微細加工が、大量生産や大面積化の大きな課題となっていました。今回、ナノメートルスケールまで細線化しなくても高性能な光子検出を実現する技術の開発に取り組み、ストリップ幅を約20 μm 、従来の約200倍以上まで広げても、単一光子をほぼ同等の性能で検出できることに成功しました。ストリップ幅をマイクロメートルオーダーまで広げることで、電子線リソグラフィに代わり、汎用的な光リソグラフィの活用が可能となり、より低コストで量産性の高い高性能光子検出器製造が期待されます。これにより、量子計算や量子通信に必要なとてくるであろう大規模光子検出システムの実現に向けた大きな一歩となると期待しています。

“サムコさんのRIE装置「RIE-10N」や2台の「RIE-10NR」は、このような繊細な超伝導薄膜の加工において、優れた安定性と再現性を発揮しています。”

▶ 弊社の装置をご使用いただいておりますが、 ご感想をお聞かせください。

我々のデバイスは、電子線描画装置で形成した100 nm以下の微細なナノストリップパターンをマスクとして、数ナノメートル厚のNbTiN薄膜を精密にエッチングすることで作製されています。電子線レジストでは十分な厚さを確保することが難しいため、エッチングには高い選択比と精密な形状制御が求められます。サムコさんのRIE装置「RIE-10N」や2台の「RIE-10NR」は、このような繊細な超伝導薄膜の加工において、優れた安定性と再現性を発揮しています。また、ナノストリップ上には光を集めるための構造を作製していますが、その一つとして、プラズマCVD装置「PD-220NL」でSiO₂膜を成膜しています。その他にも、SNSPDと組み合わせる光導波路の形成にはICPエッチング装置「RIE-400iP」によるSiのファイン加工を、MEMS構造の形成には高速Siディープエッチング装置「RIE-800iPB」を活用しています。RIE-10Nについては、30年以上稼働し続けていることから、装置の堅牢性に驚くとともに、高い信頼を寄せています。

▶ 日頃のご研究において、心掛けて おられることをお聞かせください。

研究のスタイルや哲学は人それぞれであり、どれが正解というものではありませんが、私自身が日頃の研究において心掛けているの

は、自分の立てた仮説や目の前の成功を、あえて疑うという姿勢です。研究を進める上では、一歩引いた視点から、「本当にそうなのか」と問い直すことを大切にしています。いろいろな角度から検証し、想定される反論やエラーの可能性を一つずつ実験で潰していくことで、最終的に残った結果を、より強固に証明することにつながると考えています。

▶ 休日はどのようにお過ごしでしょうか。

私は人混みや都会のにぎやかな街中があまり得意ではないため、プライベートでは緑の多い静かな郊外や自然の中で過ごすことを大切にしています。休日は、自宅で映画を観たりしてリラックスすることが多いです。一番の趣味は学生時代から続けているスキーで、冬場には家族と一緒に長野県などへ出かけます。研究のことを休日にも考えてしまうタイプなので、スキーや映画などを通じて、意識的に気持ちを切り替えるようにしています。

▶ 最後に弊社に対して、一言お願いします。

サムコさんに対しては、30年以上稼働し続けている装置の例からも分かる通り、非常に堅牢で、日本のものづくりを支える優れた半導体製造装置メーカーとして信頼しています。現在、我々は「神戸デバイス協創棟」の立ち上げを進めており、サムコさんのICPエッチング装置やALD装置を含む多数の微細加工・成膜装置を導入しています。本施設では、大学や企業の方々に最先端設備を広く開放し、人材育成や製品開発に向けたプロセス検証を支援できるような場を形成したいと考えています。サムコさんには今後も、先端装置の開発に加え、技術サポートやソリューション提案を通じて、日本のデバイス開発の未来を共に支えるパートナーであってほしいと期待しています。

お忙しいところ貴重なお時間をいただき
ありがとうございました。

取材日：2026年5月27日

*超伝導ナノストリップ光子検出器(SNSPD)は、極低温まで冷やした超伝導体の非常に細い線に電流を流し、光子が当たったときに発生する小さな電気信号を読み取ることで、単一の光子を検出するデバイスである。SNSPDでは、超伝導状態を保てる限界に近い電流をナノストリップに流しておく。そこに光子が入射すると、そのエネルギーによって線の一部が一時的に超伝導状態を失い、電気抵抗を持つ小さな領域が生じる。この領域はホットスポットと呼ばれ、発生すると短い電圧パルスが読み出し回路に現れる。この電圧パルスを信号として読み取ることで、光子が1個入射したことを検出できる。検出後、ホットスポットはすぐに冷却され、ナノストリップは再び超伝導状態に戻る。SNSPDは、高い検出効率、低い暗計数、優れた時間分解能を実現しやすく、量子通信、量子光学、光子計数などの分野で利用されている。



1991年からご使用いただいているRIE装置「RIE-10N」。現在も現役で稼働している。

“30年以上稼働し続けている装置の例からも分かる通り、非常に堅牢で、日本のものづくりを支える優れた半導体製造装置メーカーとして信頼しています。”