

スペクトラム社の DDS 技術により 量子コンピューティングのためのマイクロ波イオン制御が可能に

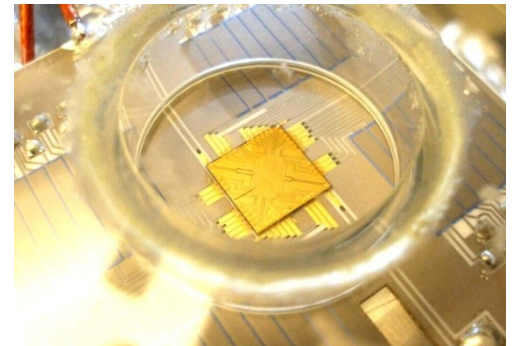
2025 年 10 月 15 日

デジタイザなどの計測機器メーカーである Spectrum Instrumentation 社（本社ドイツ・グロースハンスドルフ/以下、スペクトラム社）は、ドイツのスタートアップ企業 eleQtron 社（以下、エレクトロン社）が量子コンピュータにおけるイオン制御手法として、スペクトラム社製の Direct Digital Synthesis（DDS）機能を搭載した任意波形発生器（AWG）を採用していることを発表しました。

世界中の量子科学者たちは、より信頼性が高く、強力な量子コンピュータを実現するための研究に取り組んでいます。ドイツのスタートアップ企業エレクトロン社は、個々のトラップイオン型量子ビット（qubit）を制御するために、レーザーの代わりにマイクロ波放射を使用した画期的な量子コンピュータを販売しています。これにより、設計の簡素化が図られ、冷却および消費電力の大幅な削減が可能です。この大きな進歩は、出力ごとに最大 20 の正弦波キャリアを生成できる、スペクトラム社の高度な DDS 技術を用いた AWG によって実現しています。

エレクトロン社は Siegen 大学発のスピンオフ企業であり、最近、自社の特許技術である MAGIC（MAGnetic Gradient Induced Coupling）量子プロセッサを実装した量子コンピュータを納入しました。MAGIC は、qubit の制御および操作にレーザーではなくマイクロ波放射を用いる点で、他の量子プロセッサ設計とは一線を画しています。

高真空中でレーザーアブレーション（レーザーを用いて固体から物質を除去する手法）を用いることで、Ytterbium（ $^{171}\text{Yb}^+$ ）イオン列を生成します。このプロセスでは、最大 30 個のイオンを単一のレジスタ内に構成することが可能で、それぞれが qubit として機能します。量子アルゴリズムを実装する鍵となるのは、磁場と振動電場を組み合わせるポルトラップ（四重極イオントラップ）を生成することです。多くの量子コンピュータ設計では、この段階で qubit を制御・操作し、量子ゲートを実行するためにレーザーが使用されています。しかし、こうしたレーザーは、各イオンを個別に高精度で照射する必要があり、また高い電力が求められる点が課題となっていました。



エレクトロン社の優れた MAGIC 量子プロセッサはマイクロ波を使用しており、冷却用などの電力消費を抑えることができます。

これに対して、マイクロ波は技術的によりシンプルで、必要とされる電力も約 5 分の 1 です。高周波発振器の出力とスペクトラム社の DDS カードの出力をシングルサイドバンド（SSB）ミキサーで結合することで、約 12.64 GHz の信号を生成します。磁場により生じるゼーマン効果によって各イオンは 3~5 MHz のデルタ変調することでアドレス指定が可能となり、クロストークが低く、チップベースのイオントラップに容易に統合できます。DDS カードは、qubit を個別に制御・操作するために必要なマルチトーン信号を生成します。



エレクトロン社の量子コンピュータは複数の MAGIC プロセッサを使用しています。

エレクトロン社の研究者は、既存の AWG ハードウェアの限界に直面した際、スペクトラム社に協力を求めました。qubit を正確に制御するには、信号の振幅、位相オフセット、パルス幅、周波数を調整する必要があります。これにより、量子操作の速度を決定するラビ振動数が得られますが、AWG に大きな負荷がかかります。

エレクトロン社には、世界中の量子研究者の間で広く知られている 16 ビット AWG「M4i.66xx シリーズ」が推奨されました。この PCIe カードは、1~4 チャンネルの同期出力に対応し、最大 1.25 GS/s の出力レートと大容量のオンボードメモリを搭載しています。メモリは複数の波形を再生するためにセグメント化することが可能です。スペクトラム社の最適化されたドライバにより、最大 2.8 GB/s のデータ転送速度を実現、最大 8 枚のカードを同期させることができます。

DDS ファームウェアを追加することで、1 チャンネルあたり最大 20 の正弦波コアを出力することが可能になります。各 DDS コアは、周波数、振幅、位相、周波数スロープ、振幅スロープをわずか数コマンドでプログラム可能で、6.4nsec の分解能によって超高速なコア切替を実現します。これにより、より多くの qubit をアドレス指定できるようになり、より複雑な量子回路の実装に必要な柔軟性が得られます。エレクトロン社にとって、この DDS ソリューションはコンセプトの鍵となるものであり、スペクトラム社の高品質なドキュメントや、設計エンジニアによる迅速な対応といった優れたサポート体制も高く評価されています。



量子科学者にとってのベストセラー：
スペクトラム社の M4i.6631 AWG は、
あらゆる波形を生成可能です。
DDS モードでは、1 チャンネルあたり最大
20 の独立した正弦波キャリアを生成し、
実験を迅速かつ容易に制御できます。

スペクトラム・インスツルメンテーション社(Spectrum Instrumentation)について

1989 年に創業したスペクトラム社(CEO 兼 創業者 Gisela Hassler)は、モジュラー設計を利用することでデジタイザ製品および波形発生器製品を PC カード (PCIe および PXIe) やスタンドアローンの Ethernet ユニット (LXI) として幅広く生み出しています。スペクトラム社は 35 年間に、トップブランドの業界リーダーやほとんどすべての一流大学を含む、世界中のお客様に製品をご利用いただいています。当社はドイツのハンブルク近郊に本社を構えており、5 年保証と設計エンジニアやローカルパートナーによる優れたサポートを提供しております。スペクトラム社の詳細については、<https://www.spectrum-instrumentation.com> をご確認ください。