

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名 アサバナント ワリット

提出された学位論文は、光を用いた量子情報処理の実現に必要なリソースである「2次元クラスター状態」を時間領域多重の手法で生成し、時間領域多重一方向量子計算の実証実験を行った論文である。

実用的な量子情報処理には 3 つの要素、つまりスケーラビリティ、ユニバーサルリティ、誤り耐性、が必須である。特に多くの物理系ではスケーラビリティという問題に悩まされ、原理検証実験はできても、実用レベルの大規模化が困難であった。光を使った時間領域多重一方向量子計算ではこのスケーラビリティという課題を克服できることが先行研究で示されている。この手法ではリソース状態である「クラスター状態」と、「プログラマブルな測定」が必要であり、これらの実現が本論文の主内容である。

本論文では、2次元クラスター状態の生成手法が検討され、すでに提案された系と異なるものを理論的に考案し、その特徴や生成された状態や利用法、実験的な検証方法など、理論及び実験的な側面から包括的に検討している。そして、提案された系を実際に構築し、世界で初めて2次元クラスター状態の生成及び検証に成功した。

さらに、時間領域クラスター状態を用いる量子計算に必要な「プログラマブルな測定」、つまりプログラマブルホモダイン測定に必要な性能を検討した。実際にプログラマブルホモダイン測定を実装し、時間領域多重一方向量子計算を使った1入出力の量子計算を実現した。

本論文では以下に述べるような9章から構成される。

第1章では、本研究の背景である量子情報処理について述べられた。この章では主に、光量子情報処理及び一方向量子計算を焦点に現在の研究課題及び先行研究を整理し、本研究の位置付けを明らかにした。

第2章では、研究の前提知識となる量子光学の基礎を述べている。特に、クラスター状態やそれを用いた量子計算を記述するための数学的な手法が説明されている。

第3章では、実験系の構築の際に必要な古典光学の知識が述べられている。特に本研究で開発された離調された位相基準を使った複雑な干渉計安定化方法が示されている。

第4章では、クラスター状態の生成に不可欠な非古典的な光源である光パラメトリック発振器の基礎理論が述べられている。

第5章では、クラスター状態を使った一方向量子計算の基本的な考え方が述べられて

いる。一方向量子計算と量子テレポーテーションを使った量子操作の等価性が示されており、第 8 章の時間領域多重一方向量子計算の実験の前提知識となる。

第 6 章では、時間領域手法の一般論、1 次元及び 2 次元クラスター状態の理論が述べられている。特に、2 次元クラスター状態の理論の部分は本論文で新たに提案された生成系の量子状態の特徴・検証方法及び量子計算における効率的な利用法が示された。

第 7 章では、2 次元クラスター状態の実験結果について述べている。この章では最初に先行研究の 1 次元クラスター状態の生成の実験に触れ、それを元に 2 次元クラスター状態の生成に必要な要求を明らかにした。次に、その 2 次元クラスター状態生成に必要な要素の詳細が述べられた。実験結果では、生成された 2 次元クラスター状態のエンタングルメントが検証され、5 入出力のユニバーサル一方向量子計算に使える 24,960 モードからなる 2 次元クラスター状態の生成に成功したことが示されている。

第 8 章では、1 次元クラスター状態を用いた時間領域量子操作の実験結果について述べている。最初にこの章では時間領域量子計算に必要なプログラマブルホモダイン測定についての背景を示した。次に、実際の実験系の詳細が述べられた。特に、具体的なプログラマブルホモダイン測定の構成が提案された。また、実装された量子操作を検証するための手法として、量子エンタングルメントを介した検証方法が示された。実験結果では、開発されたプログラマブルホモダイン測定器を使った 1 ステップの基本的な量子操作の実現とその量子性が実験的に示された。最後に 100 ステップの量子テレポーテーションを行い、時間領域多重手法が大規模量子計算に有用であることが実験的に示された。

第 9 章では、まとめ及び今後の展望について述べている。前半では、本論文の成果は大規模連続量量子計算のプロトタイプに相当するだけでなく、今までの様々な連続量量子計算の各々の要素の研究を融合するプラットフォームにもなっていることが述べられた。後半では、今後の課題及び実用的な連続量量子計算を実現するための今後の研究の方向性についても議論された。これによって、本研究で得られた成果の重要性及び更なる発展と将来性が明確になった。

以上の通り、本論文は一方向量子計算に必要なリソースである 2 次元クラスター状態の生成、及び時間領域多重一方向量子計算を実現したものである。いずれも、本論文によって世界で初めて行われたことで、画期的な実験であり新規性に富んでいる。従って、本論文での成果は連続量一方向量子計算の実現への礎であり、重要な貢献であることを認めた。

以上を勘案し、本論文を博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。