

論文審査の要旨および学識確認結果

報告番号	①／乙第 号	氏 名	河内 優太
論文審査担当者： 主査 慶應義塾大学教授 博士(理学) 早瀬 潤子			
副査 慶應義塾大学教授 博士(理学) 渡邊 紳一			
慶應義塾大学准教授 博士(工学) 太田 泰友			
物質・材料研究機構主幹研究員 博士(工学) 栗村 直			
学士(工学)、修士(工学) 河内優太君の学位請求論文は「Ultrafast detection of single-photon level femtosecond photon echoes from coherently controlled quantum dots (コヒーレント制御された量子ドットにおける単一光子レベルフェムト秒フォトンエコーの超高速検出)」と題し、全 9 章より構成される。 秘匿性の高い通信や分散量子コンピューティングの実現に向けて、光を用いた量子通信技術の研究開発が急速に進展している。量子通信においては、量子ビットとして機能する単一光子源、量子中継に不可欠な量子メモリ、ならびに量子状態を最終的に評価する単一光子検出器の三要素が中核技術である。将来的な量子情報伝送密度の向上には、量子ビットを担う光パルスのさらなる短パルス化が不可欠であり、フェムト秒時間領域で動作する量子通信プラットフォームの構築が強く求められている。通信波長帯におけるフェムト秒単一光子源は既の実証されている一方で、テラヘルツ (THz) 帯域の広いスペクトル幅を有するフェムト秒光パルスを保存可能な量子メモリはこれまで実現されていなかった。また、従来の単一光子検出器の時間分解能はピコ秒域に制限されており、フェムト秒領域の量子信号を直接評価することは困難であった。本研究では、THz 域の不均一幅を有する歪補償自己形成 InAs 量子ドット集合体とフォトンエコー法を組み合わせることで、フェムト秒量子信号の保存が可能な量子メモリを開発している。さらに、周波数上方変換を用いた単一光子検出器を開発し、フェムト秒時間分解能での量子状態測定を実現している。これらの手法を統合することで、既存の量子通信プラットフォームをフェムト秒時間領域へと拡張するための基盤技術を確立している。 本論文の第 1 章では序論として、量子メモリおよび単一光子検出器の研究背景と本研究の目的を述べている。第 2 章では光の量子性および Time-bin 量子ビットに関する基礎事項を整理している。第 3 章では二準位系と光の相互作用、フォトンエコー法の原理および量子メモリへの応用について述べている。第 4 章では、本研究で用いた歪補償 InAs 量子ドット集合体の構造・物性、ならびにフォトンエコー生成における課題と、それを克服するためのチャープパルスによる Adiabatic Rapid Passage (ARP) の原理を説明している。第 5 章では、量子ドット集合体におけるフォトンエコー生成実験およびシミュレーション結果を示し、ARP によるロバストな量子制御により THz 不均一集合体においても希土類イオン系に匹敵するフォトンエコー信号増強が可能であることを明らかにしている。第 6 章では、フェムト秒フォトンエコー信号検出のための周波数上方変換単一光子検出器の原理と性能指標について述べている。第 7 章では同検出器の検出性能を定量的に評価し、時間分解検出における設計指針を示すとともに、フェムト秒 Time-bin 量子ビット評価のデモンストレーションを行なっている。第 8 章では前章までの技術を統合し、量子ドット集合体に保存した Time-bin 信号を周波数上方変換単一光子検出器によって測定、保存前の Time-bin 信号に付与された位相情報が高い忠実度で保持されていることを示している。第 9 章では、本研究で得られた成果を総括し、今後の研究展望について述べている。 以上、本論文は、フェムト秒領域における量子ドットの超高速コヒーレント制御と量子メモリ応用、ならびに単一光子の超高速検出に関する新たな知見を示しており、量子光学・量子技術分野への貢献が認められる。 よって、本論文の著者は博士(理学)の学位を受ける資格があるものと認める。			
学識確認結果	学位請求論文を中心にして関連学術について上記審査会委員で試問を行い、当該学術に関し広く深い学識を有することを確認した。 また、語学(英語)についても十分な学力を有することを確認した。		