

自己評価報告書

平成23年4月22日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2008～2011

課題番号：20360038

研究課題名(和文) 半導体量子構造における表面音響波を用いた電子・光物性制御

研究課題名(英文) Controlling electronic properties by
surface acoustic waves in semiconductor quantum structures

研究代表者

松田 理 (MATSUDA OSAMU)

北海道大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：30239024

研究分野：フォノン物性、光物性、超高速分光

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎、応用物理学一般

キーワード：音、電子励起状態制御

1. 研究計画の概要

本研究の目的は、超短光パルス照射によって半導体試料に励起された表面音響波を用いて、半導体試料中の励起子を自在に輸送し、またその励起子の寿命を制御する手法を開発・発展させることである。半導体量子井戸層を表面近傍に持つ試料における表面音響波は、量子井戸層の伝導帯および価電子帯エネルギー準位を変調し、光励起された励起子を面内方向に閉じ込め輸送する動的なポテンシャル井戸を形成する。変調された伝導帯・価電子帯ポテンシャルの山同士・谷同士が同じ位置にできる場合は、励起子を構成する電子と正孔が空間的に分離され励起子の寿命が著しく増大する。何らかの方法でこの動的ポテンシャル井戸を消滅させることにより、励起子を再結合させることができる。

このような動的ポテンシャル井戸による励起子輸送の研究はこれまで主として電気的に発生された表面波を用いて進められてきた。これに対して本研究では、表面音響波の生成をサブピコ秒程度の超短光パルスを試料に照射することによって行う。生成する表面音響波の典型的な波長は1~10 μm 程度である。表面音響波生成のための光あるいは別途照射された光によって生成された励起子を、音響波によって輸送する。その様子を発光および過渡的反射スペクトルの時間・空間分解イメージとして観測・解析する。

2. 研究の進捗状況

(1) 輸送キャリアの再結合を検出するためのフォトルミネッセンス観測装置を構築した。これは、2次元 CCD 検出器を用いた1次元空間分解能を有する分光システムとなっている。試料はクライオスタット中で10 K

程度まで冷却される。GaAs 基板および GaAs/AlGaAs 量子井戸構造について構築した装置を用いて空間分解フォトルミネッセンスの測定を行った。しかしながら、この装置には 1)イメージングの空間分解能が不足しており、励起光の集光状況がはっきりしないこと、および 2)表面音響波の生成状況が不明なこと、のふたつの問題点があることが判明した。

(2) 上記装置の問題点を改善するために新しく共焦点顕微鏡型のフォトルミネッセンスイメージング測定装置を開発した。これは表面音響波の時間分解イメージング装置と組み合わせられたおり、共通の実験配置によりフォトルミネッセンスと音響波の2種類のイメージングを試料の同一部位に同一励起条件で行うことができる。ミクロンスケールの空間分解能を有しつつ、クライオスタットによる低温測定も可能なように試料と試料直前の対物レンズ間の距離を10 mm程度確保できるように設計されている。この装置によりパルス光励起による GaAs 試料表面の表面音響波およびルミネッセンスイメージングの実験を10 K程度の温度領域で行いその動作を確認した。ルミネッセンスイメージングの空間分解能は10 μm 程度であること、弾性表面波励起光の集光領域は回折限界に近い数 μm とできることを確認した。また、ビームスプリッタとシリンドリカルレンズを用い、平行な2本の線状の領域を励起できる励起光学系を構築した。

(3) 表面音響波検出に光弾性効果による複屈折現象を用いた場合の理論構築を行い、表面音響波イメージング結果から試料中の歪モードを同定することを可能にした。この成果は専門学術雑誌 Journal of the Optical

Society of America B に投稿、掲載された。

3. 現在までの達成度

②おおむね順調に進展している。

当初予定していたルミネッセンスイメージング法は分解能が不足しており、本研究には使用できなかったが、その問題点を改善するために開発した新しいイメージング法は、分解能が大幅に改善されたことに加えて音響波の時間分解イメージングも可能で、音響波によるキャリア輸送現象を総合的にとらえることができるようになった。また、当初計画していなかった、光弾性効果による音響波イメージングのための基礎理論の構築がなされた。

4. 今後の研究の推進方策

新しく開発したフォトルミネッセンス・音響波イメージング法を用いて、半導体量子井戸試料の音響波によるキャリア輸送現象を観察し、その定量的な解析を行う。また、比較研究として、試料上に電子ビームリソグラフィにより楕型電極を形成し、電氣的に励起された表面音響波によるキャリア輸送実験を行う。

5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

1. T. Saito, O. Matsuda, M. Tomoda, and O. B. Wright, Imaging gigahertz surface acoustic waves through the photoelastic effect, Journal of the Optical Society of America B, vol. 108, 2632-2638 (2010), 査読有.

[学会発表] (計 5 件)

1. 兼子 翔伍、松田 理、友田 基信、Oliver B. Wright、GaAs における弾性表面波とフォトルミネッセンスの 2 次元イメージング、第 31 回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム (USE2010)、2010 年 12 月 6 日、東京、明治大学駿河台アカデミーコモン.

2. 松田 理、友田 基信、Oliver B. Wright、光弾性効果による GHz 弾性表面波伝播の実時間二次元イメージング、日本物理学会秋季大会、2010 年 9 月 25 日、大阪、大阪府立大学中百舌鳥キャンパス.

3. O. Matsuda, T. Saito, M. Tomoda, and

O. B. Wright, Time-resolved imaging of sub-GHz surface acoustic waves using the photoelastic effect, 2nd International Symposium on Laser Ultrasonics, 2010 年 7 月 7 日, Université Bordeaux 1, Talence, France.

4. 兼子翔伍、松田理、友田基信、Oliver Wright、GaAs における弾性表面波の時間分解イメージング、第 30 回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム、2009 年 11 月 20 日、京都、同志社大学今出川キャンパス寒梅館.

5. 斎藤大樹、松田理、友田基信、Oliver Wright、光弾性効果によるギガヘルツ弾性表面波 2 次元イメージング、第 30 回超音波エレクトロニクスの基礎と応用に関するシンポジウム、2009 年 11 月 18 日、京都、同志社大学今出川キャンパス寒梅館