

励起子型量子アニーリング手法の開発と量子ドット発光解析への応用

Analysis of photoluminescence properties of the quantum dot using quantum annealing

電気通信大 i-PERC¹ 基盤理工² °(B4) 袴田紘斗², 曾我部東馬^{1,2}, 山口浩一²

Univ. of Electro-Comm. °H. Hakamata, T. Sogabe, K. Yamaguchi

E-mail : sogabe@uec.ac.jp

はじめに 従来の量子アニーリング法はイジングモデルに基づき量子スピンを利用することが一般的であるが[1]、本研究では我々は量子温度を導入し、温度変化によって生じる量子ドットの系における励起子間での量子相転移を利用した励起子型量子アニーリング手法の原理を説明する。また当手法を GaAsSb/GaAs(001)上の高密度 InAs 量子ドット層の発光特性の実験解析[2]に応用し、量子相転移が由来する量子ドットの発光強度スペクトルの特徴再現による検証結果を報告する。

実験 励起子量子アニーリング原理を Fig.1 に示す。e は電子、h はホールを表しており、励起子間距離で励起子発光のピークを表現した。量子ドットの系を 2 次元的な状況を考え、電子とホールを複数個ランダムな位置に設置した計算モデルを設計した。そして、ホール同士や電子と束縛半径に入ったホールの距離からポテンシャル(式 1)、ポテンシャルの勾配 $\nabla\phi$ を計算した。最後に従来の 2 次元イジングモデルにおいて、横磁場を印可する部分を温度変数 $T(t)$ に置き換

$$\phi(x, y) = \frac{\pm q}{4\pi\epsilon_0 r} \quad (1)$$

$$H_{exQA} = \sum \phi_{ij} \sigma_i^z \sigma_j^z + T(t) \sum \sigma_i^x \quad (2)$$

えたハミルトニアン(式 2)を使い、ホールの位置を更新した。これを繰り返すことでアニーリングを行い、励起子による発光強度スペクトルの量子相転移の実験結果に応用し、再現検証を行った。

結果・考察 励起子ミュレーションの結果を Fig.2 に示す。横軸が束縛半径、縦軸が束縛半径に入

ったホールの密度を表している。この図の波長が束縛半径、規格された量子ドット発光強度(PL Intensity)がホールの密度に対応している。励起子による発光強度 PL スペクトルの実験結果を Fig.3 に示す。実験では温度 15 [K] で見られた二つに分離された発光ピークが、150 [K] で一つの発光ピークに収束していく傾向が観察されている。励起子型量子アニーリングの計算結果 (Fig.2) は、この現象と一致していることが分かる。今後、計算パラメータを調整し、定量的に実験結果を評価し、最終的に励起子型量子アニーリング手法を新たな量子コンピューティング手法として確立していくことを目指す。

[1] 西森 秀稔: 量子アニーリングの数理, 物性研究 vol.3,033203(2014)

[2] 杉山ら、第 64 回応用物理学会春季学術講演会(2017)

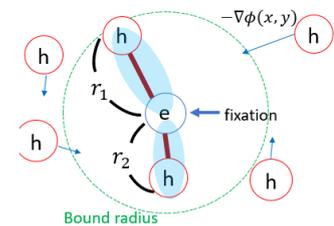


Fig.1. Simulation model

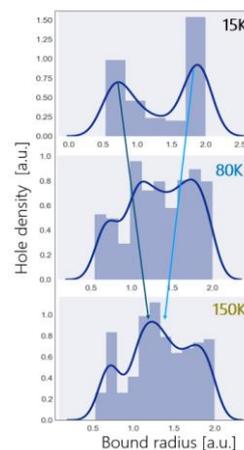


Fig. 2. Simulation result

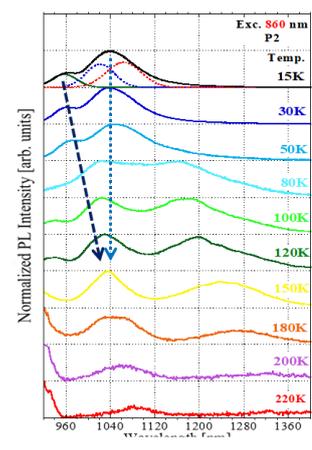


Fig.3. Experimental result