

舩本単一量子点プロジェクト



総括責任者 舩本 泰章

(筑波大学 物理学系 教授)

研究期間 1995 年 10 月～2000 年 9 月

数ナノメートルサイズの半導体微結晶は量子点を構成し、かつ表面の割合が高いため、外界の影響の強い特徴的な量子現象を示すと考えられます。しかしサイズ分布のため、量子サイズ効果の精密な測定や新しい現象の発見が妨げられてきました。

本プロジェクトでは、高い空間分解能のレーザー分光法を用い、単一の半導体量子点の本質を明らかにする研究を行いました。その結果、量子点中の多励起子状態やフォノン緩和を明らかにし、量子点のデバイス応用の障害とされた問題について原理的な解を得ました。サイズ、濃度、配列を制御するⅢ-V族半導体量子点作製技術も開発しました。さらに、重水素終端ポーラスシリコンの長寿命発光や Eu 珪素酸化物の白色発光、光学活性イオンドープⅡ-VI族半導体ナノ結晶の高効率発光など、発光デバイスへの応用が期待される結果も得ました。「量子点は埋め込まれているホストと一体として理解される」という考えは、今後も量子点の本質的概念となると考えられます。

成果

量子点の自己組織的な配列制御の実現

高指数面基板上に InGaAs 量子点を含む薄膜層を繰り返し積層すると、量子点が一次元鎖として自己組織的に配列されることを見出した。この配列の発光は一次元鎖の方向に偏光していることが認められ、量子点間の結合を示すものとして注目される。

エリプソメトリ法を用いた量子点形成の”その場”観察

MOVPE においては従来困難とされた量子点形成の“その場”観察がエリブソメトリ法により可能であることを見出した。量子点形成過程とエリブソメトリ信号との対応を明らかにし、成長ヘフィードバックすることで量子点のサイズ、密度の制御性が向上した。

モノレイヤー成長に伴うエリブソメトリ信号の振動の観測

MOVPE において、モノレイヤーの成長毎にエリブソメトリ信号が 1 回振動する現象を見出した。この振動は成長表面に形成される 2 次元島の端の (111) A ステップの増減に起因しており、ステップに現れる Ga ダイマーとプローブ光の相互作用が誘電率を変化させ、エリブソメトリ信号の変化として観測されることを明らかにした。

多励起子状態の解明

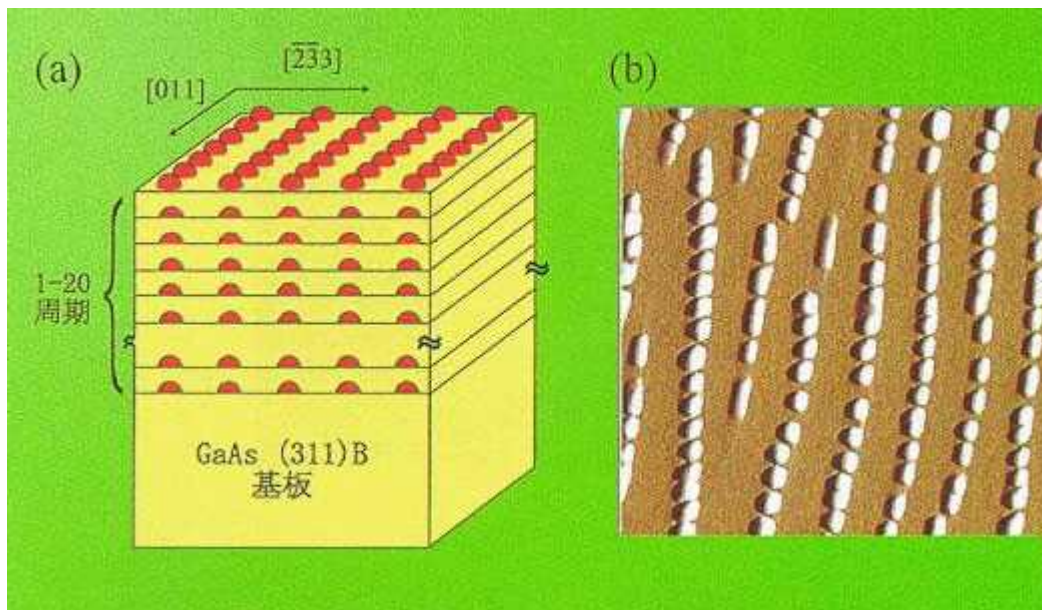
弱い閉じ込めとして CuCl 量子点、強い閉じ込めとして InP 量子点について、2 励起子、3 励起子、多励起子の各状態を単一量子点分光により観測し、理論計算も行い、量子点中の多励起子状態を総合的に理解した。結果は極微弱光の光非線形デバイスの基礎となる。

量子点中のフォノンやフォノン緩和の解明

量子点中の LO フォノンに及ぼす励起子の強い影響、表面振動モードと量子化電子状態の複合状態を、CuCl 量子点、Si 量子点により明らかにした。また、サイト選択及び時間分解分光により、電場下の InP 量子点で、励起電子のフォノン緩和の実相を精緻に観測した。この結果は量子点の光デバイスへの応用の原理的制約を取り払う意味を持つ。

量子点と量子点が埋め込まれているホストとの相互作用の理解

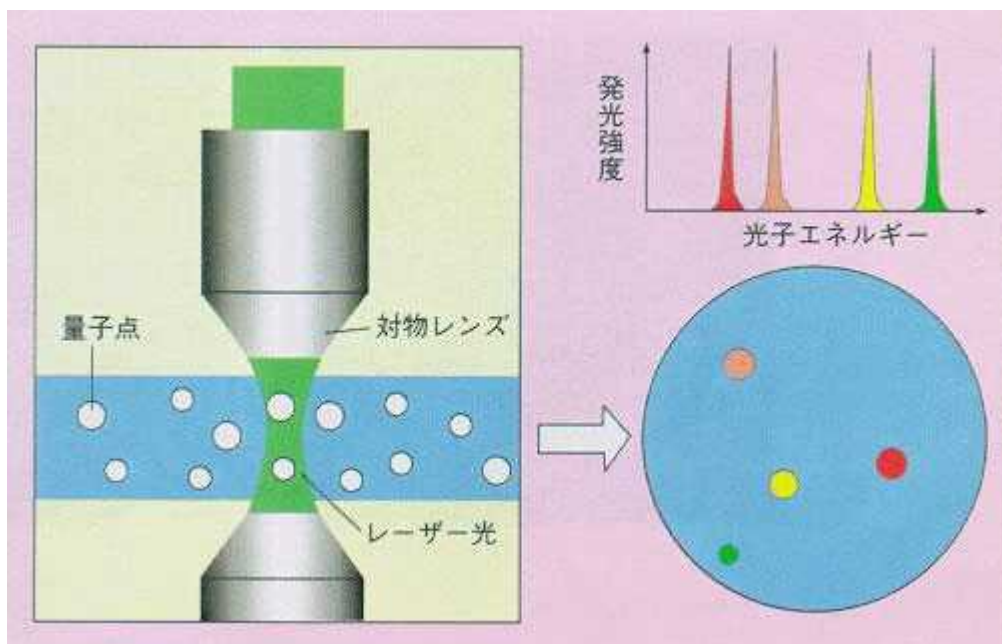
量子点のランダムテレグラフシグナル（間欠発光）を見出し、それが量子点と量子点が埋め込まれたホスト中のトラップとの相互作用に起因し、さらに、このトラップがアンチストークス発光をも引き起こしていることも明らかにした。こうした研究により、「ホストと強く相互作用する量子点」という量子点を理解する視点を確立した。



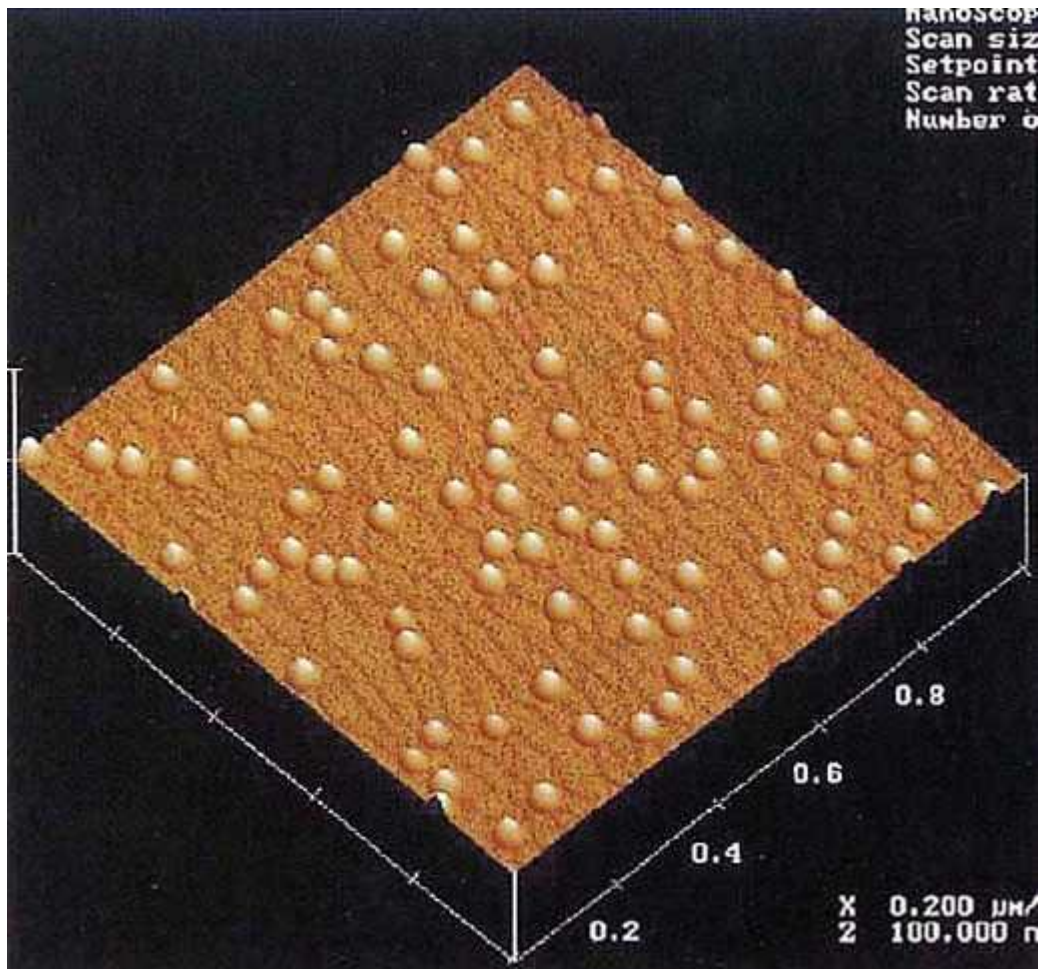
▲歪み層の繰り返し成長による量子点アレイの形成

(a)GaAs 基板上の量子点アレイ形成の概略説明図。赤の領域が量子点を表す。

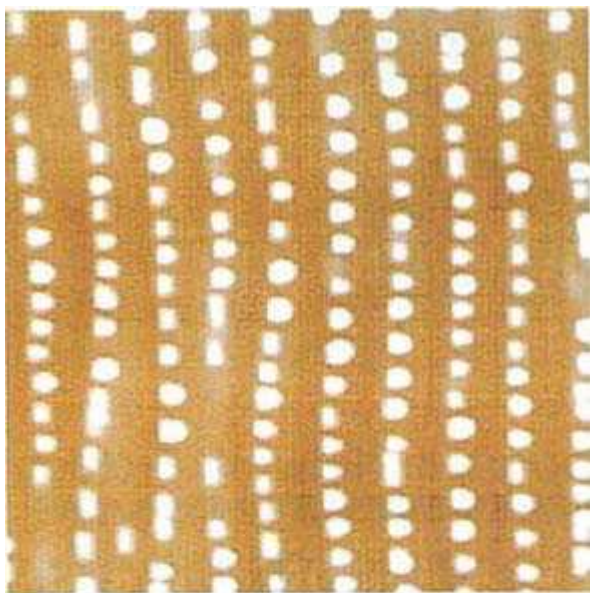
(b)InGaAs/GaAs 多重層(20 周期)の表面の原子間力顕微鏡像(サイズ:1 μ m $\times$ 1 μ m)。白で示される量子点が 1 次元アレイを形成している



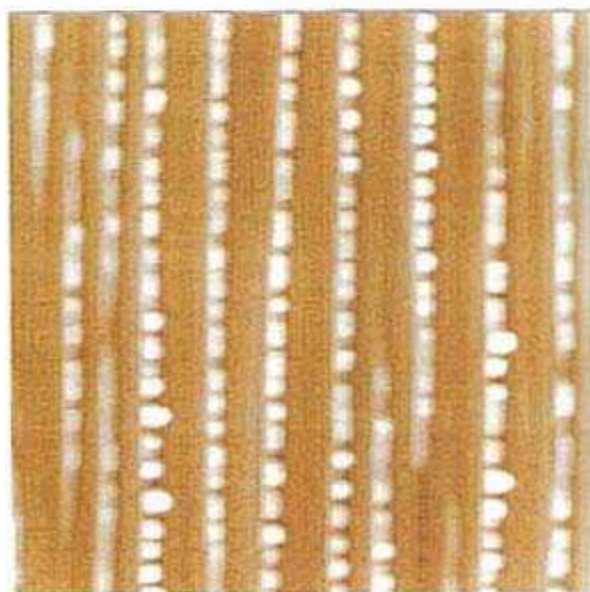
▲単一量子点の発光スペクトル測定



▲AFM micrograph of 1.8ML InAs self-assembled islands grown on GaAs(001)by GS-MBE.



(411) B



(211) B

研究成果

- [研究成果ビデオ](https://www.jst.go.jp/erato/research/old.html)
<https://www.jst.go.jp/erato/research/old.html>
- [研究成果集](https://www.jst.go.jp/erato/research_area/completed/mtr_pj/results_1995-2000_masumoto.pdf)
https://www.jst.go.jp/erato/research_area/completed/mtr_pj/results_1995-2000_masumoto.pdf

- [論文リスト](#)

https://www.jst.go.jp/erato/research_area/completed/mtr_pj/publications_1995-2000_masumoto.pdf