



Title	Study on superradiance in semiconductor high-quality thin films and nanoparticles
Author(s)	Le, Phuong Quang
Citation	大阪大学, 2013, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/51399">https://hdl.handle.net/11094/51399</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏 名	ル <sup>ル</sup> フン <sup>フン</sup> ケン <sup>ケン</sup> LE PHUONG QUANG
博士の専攻分野の名称	博 士（理学）
学 位 記 番 号	第 2 6 1 2 0 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 25 年 3 月 25 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 基礎工学研究科物質創成専攻
学 位 論 文 名	Study on superradiance in semiconductor high-quality thin films and nanoparticles (高品質半導体薄膜およびナノ粒子の超放射の研究)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 芦田 昌明 (副査) 教 授 宮坂 博 教 授 田中 秀和

## 論 文 内 容 の 要 旨

This thesis focuses on exploring experimentally “superradiance” nature, in other words, exceptionally ultrafast optical responses, of excitons and biexcitons confined in semiconductor high-quality thin films and nanoparticles, respectively, by using various ultrafast optical spectroscopy methods.

In the first part of the thesis, by means of degenerate four-wave mixing and photoluminescence spectroscopy, superradiance of excitons confined in high-quality CuCl thin films with thicknesses of a few hundred nanometers beyond the long-wavelength approximation is confirmed to be resulted from a remarkably long coupling length between light and multinode-type excitons which, in turn, could be controlled qualitatively just by changing the quality and thickness of CuCl thin films. Due to such kind of the coherent light-exciton coupling, photoluminescence signals from the excitonic states corresponding to not only odd but also even quantum numbers, which are optically forbidden in the long-wavelength approximation, are clearly observed. The full width at half maximum of the excitonic state deduced qualitatively from the corresponding photoluminescence band shows almost the same dependence on the quantum number as the theoretical prediction about the ultrafast nature of light-coupled excitons. This result indicates that high coherence of matter systems is clearly reflected even in its incoherent photo-processes, which reveals unexploited potential of

the PL spectroscopy and it also provides a clear example showing that the straightforward control of the size and quality of conventional materials can considerably enhance the degree of freedom enabling the development of novel material functions.

In the second part of the thesis, by generating a macroscopic coherent coupling between biexcitons confined in CuCl nanoparticles, superfluorescence emission, a particular case of superradiance, is observed successfully. As one of essential features for further understandings about biexciton superfluorescence emission from an ensemble of CuCl quantum dots observed recently, the radiative lifetime of biexcitons confined in 3-nm quantum dots is estimated to be about 80 ps under a two-photon resonant excitation by means of time-resolved Kerr gate spectroscopy. Different to the band-to-band excitation, the two-photon resonant excitation is suggested to avoid efficiently the reabsorption process of biexciton luminescence from coexisting excitons leading to a possibility to observe successfully the pure lifetime of confined biexcitons. The obtained biexciton lifetime in nanoparticles is suggested to be suitable to support an occurrence of the superfluorescence emission.

## 論文審査の結果の要旨

本論文は高品質半導体薄膜と半導体ナノ粒子に見られる超放射現象について実験的に研究した成果をまとめたものである。

第1章では、光科学分野におけるこれまでの研究状況を踏まえ、集束的な光学応答である超放射現象が概説された後、ナノ構造物質における超放射の特徴が示された。そして、光通信に用いられる光スイッチの性能向上、すなわち光で光を制御可能な非線形光学応答の高効率化、超高速化と微小物質における超放射の関係が明らかとされ、本論文の目的が述べられた。

第2章では、半導体高品質薄膜の作製について述べられている。電子線照射による表面改質の最適条件を明らかとし、不純物・欠陥等の影響による光スペクトル形状が不均一に広がる幅、すなわち品質を反映するパラメータであるダンピング定数を0.2meVと、従来の半分程度に抑えることに成功した。

第3章では、前章で高品質化に成功した厚さ数百nmの薄膜に対して分光実験を行った結果が記されている。こうした試料では膜内に閉じ込められた電子励起状態が膜全体に広がって存在するため、光との相互作用が増強される結果、発光測定において超放射発現に対応する複雑なスペクトル構造を初めて観測した。さらに、そのスペクトル形状は理論計算と良好な一致を見た。

第4章では、半導体ナノ粒子集団が示す超放射の発現要因として知られるナノ粒子の発光寿命の実測に成功した結果が述べられている。

第5章では、本論文の総括が行われ、高品質な半導体微小物質における超放射の特徴がまとめられている。

これまで光学応答の高速性を示す実験は、試料の不均一広がりを除外するために複数の光束を組み合わせた複雑な手法である非線形分光が用いられてきた。本論文は、高品質な試料であればそうした手法によらず、単なる発光測定でも超放射に関する情報が得られることを明らかとし、超放射研究の今後の発展を拓く重要なものである。よって博士（理学）の学位論文として価値のあるものと認める。