

セミナー：ナノテクノロジー・フロンティア

量子ドット形成に関する研究と そのための MBE 成長その場 STM 観察技術の開発

講師 塚本 史郎 氏 (阿南工業高等専門学校 日亜化学講座 特別研究教授)

日時 平成 19 年 5 月 25 日 (金) PM3:00-4:00

会場 鳥取大学工学部 3 階応用数理工学科第 2 ゼミ室

近年注目されている量子ドットなどのナノ 3 次元構造のエピタキシャル成長には未だ解明されていない謎が多く、その成長過程をその場で、しかも原子レベルで観察する評価手法は極めて重要である。現在、すでに電子線や光などを用いる手法 (例えば、RHEED、RDS) が実用化され、広く使われている。しかし、この手法では、Layer by layer の 2 次元成長の原子レベル評価・制御を可能としても、量子ドットのように 3 次元成長する実空間を原子レベルで評価することはできない。

その点 STM が有望であるが、振動や原料の蒸着を嫌う STM は、通常、MBE などの成長装置とゲートバルブ等で仕切られた別の真空容器に入れられており、3 次元構造の成長後、温度を室温に戻してから、STM 室に搬送して観察を行う。しかし、これではその場観察は行えない。そこで、MBE と STM を一容器内に完全合併した「STMBE」装置の開発に取り組み、この STMBE 装置を用いて、InAs 量子ドット成長表面の原子レベルその場 STM 観察を中心に、半導体表面構造の解析を行っている。

具体的には、GaAs(001) 上で InAs が量子ドットを形成する際の表面構造変化を観察し、その STMBE 像から直接的に得たフーリエスペクトルを解析して、表面構造が $\times 3$ から $\times 4$ に変移する様子を明確に捉えることができた。この結果は RHEED 実験の結果とも一致している。さらに、量子ドット発生の瞬間を捉えることに成功し、数個の原子が 1ML の高さ、幅 1 ユニットに集結、次第に大きくなること、集結場所は単にステップではないことを明らかにし、鳥取大学石井晃教授との共同研究による第一原理計算にもとづく動的モンテカルロ計算により、その集結場所を決定する要因に量子ドット発生前の表面を構成している Ga 原子の微弱な挙動が大きく関わってくることを示した。

また、Sb 終端した GaAs(001) 上での InAs 量子ドット形成、As なし高温クリーニングを施した表面、さらには、硫黄終端した GaAs(001) 上にテトラキストリフェニルフォスフィンパラジウムなどの有機金属触媒を固定させ、触媒活性の向上、リサイクル化を目指した研究なども行っている。

Atomistic view of InAs quantum dot self-assembly from inside the growth chamber

A 'quantum dot' is a tiny region of a solid, typically just nanometres in each direction, in which electrons can be confined. Semiconductor quantum dots are the focus of intense research geared towards exploiting this property for electronic devices. The most economical method of producing quantum dots is by self-assembly, where billions of dots can be grown simultaneously. The precise mechanism of self-assembly is not understood and is hampering efforts to control the characteristics of the dots. We have used a unique microscope to directly image semiconductor quantum dots as they are growing, which is a unique scanning tunnelling microscope placed within the molecular beam epitaxy growth chamber. The images elucidate the mechanism of InAs quantum dot nucleation on GaAs(001) substrate, demonstrating directly that not all deposited In is initially incorporated into the lattice, hence providing a large supply of material to rapidly form quantum dots via islands containing tens of atoms. kinetic Monte Carlo simulations based on first-principles calculations show that alloy fluctuations in the InGaAs wetting layer prior to are crucial in determining nucleation sites.

注：釜野勝氏講演 (別紙) と同時時間帯・同会場です。

世話人：石井晃・星健夫 (鳥取大学工学部応用数理工学科) ; 連絡先：hoshi@damp.tottori-u.ac.jp
セミナー情報ページ (最新情報はこちら) : <http://www.damp.tottori-u.ac.jp/~hoshi/semi.html>