

InAs 量子ドットのキャップ層による歪制御の XRD によるその場観察

In situ XRD observation of strain control of InAs quantum dots by the capping layer

神谷 格¹⁾ 下村 憲一¹⁾ 富井 拓真¹⁾ 山田 郁彦¹⁾ 佐々木 拓生¹⁾ 鈴木 秀俊²⁾
高橋 正光³⁾ 大下 祥雄¹⁾

Itaru KAMIYA, Kenichi SHIMOMURA, Takuma TOMII, Fumihiko YAMADA, Takuo SASAKI, Hidetoshi SUZUKI,
Masamitsu TAKAHASHI, Yoshio OHSHITA

¹⁾ 豊田工業大学 ²⁾ 宮崎大学 ³⁾ 原子力機構

(概要)

GaAs(001)上の InAs 量子ドットは光通信素子への応用のため 1.55 μm 領域での吸発光の実現が期待されており、近年ドットを埋め込む層(キャップ層)の工夫による歪制御が考えられている。 GaAs(001)上の InAs ドットではキャップ層として主に GaAs が用いられるが、GaAs を InGaAs に置き換えると発光ピークがレッドシフトすることが報告されている[1]。これは InGaAs が GaAs よりも格子定数が大きいためキャップ層とドット間での歪を抑制できるためと考えられている[2,3]。こうした歪みの発光波長に及ぼす影響を明らかにしながら、1.55 μm 領域での吸発光の実現をしていく。

キーワード :

In situ XRD, MBE, InAs 量子ドット, 歪み制御

(1行あける)

1. 目的

キャップ層の及ぼす影響の先行研究では、GaAs キャップ成長中のものは報告されているが[4,5]、InGaAs キャップについては報告がない、また、ドットサイズの依存性についても余り検討されていない。申請者の研究室ではドットサイズのピークシフトへの影響を調べ、InGaAs キャップではピークシフトがドットのサイズが小さい時ほど顕著になるという結果を得ている。単一ドット内では高い位置(頂点方向)ほど格子定数大きいことが報告されており、ピークシフトの度合はドット内の格子定数を反映したものと考えている。従って、格子定数を制御したドットにより、吸発光の長波長化の可能性はあるが、本研究室所有の RHEED ではドット内の格子定数の分布を正確に測定することができず、また AFM で観察できるドットの形状はクエンチ後であるために埋め込まれる直前のドット形状と一致していない可能性がある。そこで XRD を用いてドット成長のその場観察し、キャップ直前のドットの形状とドット内の格子定数計測を行うこととした。

また我々の別の XRD 計測より GaAs 上に InGaAs 薄膜を積層すると、膜上部で歪緩和が起こる際、下部の InGaAs 層にも影響を及ぼすことを報告しており、この事からキャップ層の InGaAs の膜厚を変化させ歪緩和がある時とない時でのキャップ層の格子定数の変化とそれに伴うドットのピークシフトを調べることでドット形状及びドットとキャップ間の格子定数の違いによる発光波長への影響を検討する。これらの結果を基にドットの波長を制御し光通信素子への応用を目指していく。こうした成果を目指し、MBE による結晶成長中の in situ XRD により歪み計測を行う事が本実験の目的であった。

2. 方法

GaAs(001)基板上に MBE で InAs 薄膜層と GaAs または InGaAs キャップ層を成長中の X 線回折強度の経時変化測定を MBE-XRD 装置を擁する BL11XU で行った。結晶成長は In flux : 0.001~0.1 ML/s, As flux : 0.2~1.5 ML/s, Ga flux : 0.02~0.03 ML/s, 基板温度: 400~500°C, InAs の総堆積量 1.0~3.0 ML/s とした。使用した X 線のエネルギーは 10keV であった。

具体的には、

- 1) 回折した X 線は 2 次元 CCD により検出する。試料、あるいは検出器位置を変化させながら 40~60 枚程度の CCD 画像を測定し、(220)回折点周辺の強度分布を 3 次元で得、
- 2) 一連の 2 次元 CCD 画像から 3 次元逆格子図を構築する、
という段取りで進め、更に、事後にこれらの試料を豊田工大に持ち帰り光計測 (photoluminescence) を行い、電子物性と合わせて総合的に検討を加えている。

3. 結果及び考察

2. に従い、GaAs 上の InAs 量子ドット及びキャップ層成長を XRD によってその場観察した。キャップ層として InGaAs を成長した時はドットから(220)回折強度が一旦減少してから、再び増加し、その後減少した。一方、GaAs を成長したときは単調に減少した。またキャップ層成長におけるドットのサイズの影響についても調べ、小さいドットをキャップしたときは格子定数の大きなところからの(220)回折強度がキャップ層成長後すぐになくなるのに対し、大きいドットではキャップ層成長後弱くはなるが、ある程度の膜厚まで強度が残っていることがわかった。

これらの結果自体新たな知見であるが、歪み層の結晶成長機構の解析を進めると共に、電子物性計測と合わせながら、今後更に成長条件を振った実験を加える事で、より統一的な理解を目指している。

4. 引用(参照)文献等

- [1] W. H. Chang, *et al.*, Appl. Phys. Lett. **86** (2005) 131917.
- [2] H. Saito, *et al.*, Appl. Phys. Lett. **73** (1998) 2742.
- [3] L. Seravalli, *et al.*, Appl. Phys. Lett. **87** (2005) 063101.
- [4] M. Takahasi and J. Mizuki, J. Cryst. Growth **275** (2005) e2201.
- [5] M. Takahasi and T. Kaizu, J. Cryst. Growth **311** (2009) 1761.