InAs 量子ドットの InGaAs キャップ層による格子歪の XRD その場観察

In situ XRD observation of lattice strain in InAs quantum dots induced by InGaAs capping layer

 神谷 格¹⁾
 下村憲一¹⁾
 山田郁彦¹⁾
 Wen HU¹⁾
 高林 絋¹⁾

 鈴木秀俊²⁾
 佐々木拓生³⁾
 大下祥雄¹⁾
 高橋正光³⁾

Itaru KAMIYA, Kenichi SHIMOMURA, Fumihiko YAMADA, Wen HU, Ko TAKABAYASHI,

Hidetoshi SUZUKI, Takuo SASAKI, Yoshio OHSHITA, Masamitu TAKAHASI

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 1.55µm 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に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]。 こうした歪の発光波長に及ぼす影響を明らかにしながら、1.55µm 領域での吸発光 の実現をしていく。 前回のビームタイムにおいては GaAs キャップと InGaAs キャップの比較 を行ったが、今回は大きさの異なる 2 種のドットに GaAs、及び組成の異なる 2 種の InGaAs キャップ時の観察を行った。

<u>キーワード</u> : 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)ほど格子定数が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があるが、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をし、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。 更に、同じドットとキャップの組合せであっても、キャップ厚によ りドットの発光挙動が異なる事から、キャップを行う際の経時的な歪の変化を検討する事とした。

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、サイズ制御したドット2種を In 組成 0, 10, 20% の3種(一つは GaAs)の InGaAs でキャップした時の比較を行った。 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

GaAs(001)上の InAs 量子ドットへのキャップ層成長を XRD によってその場観察した。 比較的サイズの 小さい(高さ 5 nm 程度) ドットへキャップ層として 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、その後減少するが GaAs では単調減少という 2012B の実験と一致する結果 が得られた。 またサイズの大きいドット(高さ 8 nm 程度)の場合でも同様の結果が得られ、回折強度の 挙動はドット内の格子定数の分布よりキャップ層の In 組成が主に支配していることが示唆された。

そこで前者、小さいドットの埋め込みについて、キャップ層の組成依存性を調べると、In 10%の InGaAs キャップの時、(220)回折強度が一旦減少してから再度増加する傾向がはっきり見られたが、In 20%のキャ ップではそれ程顕著ではなかった。

以上の結果を踏まえ、特に小さいドットの In₀₁Ga₀₉As と GaAs 埋め込みの場合に注目して解析を進めて そのデーターが図1、2に示すものである。 キャップを被せていく最中の GaAs の格子定数に対 いる。 する比格子定数別の回折強度の時間変化をプロットしたものであり、図1は GaAs キャップ、図2は InGaAs キャップの場合である。(キャップ速度は約0.05 nm/s) 図2の InGaAs キャップの場合、キャップが約5 nm の時点で回折強度変化の傾向が変わり、格子定数比 1.01~1.02 の強度についてはキャップが約 13 nm の時 この理由についての考察を現在進めており、キャップをしていく際に、格子定数の大 に極大値を示す。 きいドットと小さいキャップ層との間の歪のバランスが、キャップ被覆量に応じ移行していく事によるも のと考えているが、これに

1) キャップ層が初期においては均一でない事の影響

2) In の偏析



等も関与している可能性があり、これらを配慮しながら理論的な考察も加えながら検討を加えている最中 である。



InAs 成長終了 &

InGaAs cap 成長開始

100 200 300 400

600

500

('n e)

100

0

InGaAs 15 nm(400s付近): 強度が上昇

Growth time (s)

格子定数比 1.01~1.02

600 700

500

1 02~1 03

1.04~1.05

1.05~1.06 1.06~1.07

図 1. GaAs キャップ時の XRD 経時変化



- <u>4. 引用 (参照) 文献等</u> [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.