キャップ層成長中における InAs 量子ドット内の歪変化の XRD によるその場観察

In situ XRD observation of lattice strain in InAs quantum dots during InGaAs capping

神谷 格¹⁾ 下村憲一¹⁾ 山田郁彦¹⁾ Wen HU^{1} 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。 MBE で成長される 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。 前々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、前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 今回はキャップ層の成長機構の詳細を調べるためにキャップ層の In ャップ時の観察を行った。 組成を成長中に変化させた時の XRD 強度の挙動を調べた。

キーワード:

In situ XRD, MBE, InAs 量子ドット, 歪み制御

1. 目的

結晶成長時のキャップ層のもたらす歪みの影響の先行研究としては、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[6]。 また単ー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 報告されているが、これはピークシフトの度合はドット内の格子定数を反映しているためと考え 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 ている。 研究室所有 MBEに装備された 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。

既に我々は別の XRD 計測の結果より 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いる[7]。 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に違いが生じ る可能性があり、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視野に、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る。

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~ 0.1ML/s, As flux : 0.2~1.5ML/s, Ga flux : 0.02~0.03ML/s, 基板温度: 400~500°C, InAs の総堆積量 1.0 ~3.0ML/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。 2013A では高さ 5nm 程度のドットを In_{0.1}Ga_{0.9}As と GaAs で埋め込んだ場合の(220)回折強度の変化について注目して解析を 進め、報告書にデーターを示した。 これらのグラフはキャップを被せていく過程の GaAs の格子定数に対 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、GaAs キャップ、InGaAs キャップの 比較を示した。(キャップ成長速度は約 0.05nm/s) GaAs キャップではキャップ層成長時に約 4nm (200 秒付近)で強度の減少が緩やかになっているのに対し、InGaAs キャップの場合、キャップが約 5nm (250 秒付近)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 1 nm の時に極大値を示した。

この理由についての考察を進めるために今回(2013B)はキャップ層成長途中にキャップ層の In 組成を 変化させた。具体的には、以下の二通りでキャップ層の成長を行った。

I) GaAs を 4nm 成長後、InGaAs を 26nm 成長

Ⅱ) InGaAs を 4nm 成長後、GaAs を 26nm 成長

成長条件 I の XRD 強度の挙動(図1)は 2013A の GaAs のみで埋め込んだ時と似た傾向を示し、成長条件 II(図2)は 2013A で InGaAs のみで埋め込んだ時と似た傾向を示した。 この結果からキャップ層成長初 期の In 組成が XRD 強度に見られる格子歪の挙動に大きく影響を与えることが示唆された。

これらの結果を踏まえ、キャップをしていく際に、キャップ被覆量に応じ移行していく格子定数の大き いドットと小さいキャップ層との間の歪の変化を

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

等の関与を配慮しながら理論的な考察も加え、引き続き検討をしている最中である。



図 1. 成長条件 I でキャップ時の XRD 経時変化



図2. 成長条件IIでキャップ時の XRD 経時変化

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.
- [6] K. Shimomura and I. Kamiya, 40th International Symposium on Compound Semiconductors, Kobe, 2013.
- [7] T. Sasaki, et al., IEEE J. Photovolt. 2 (2012) 35.