

結合量子井戸の X 線反射率測定による構造評価

X-ray reflectivity measurements of coupled double quantum wells

産業技術総合研究所¹ ○ 牛頭 信一郎¹, 物集照夫¹, 河島 整¹AIST¹ ○Shin-ichiro Gozu¹, Teruo Mozume¹, Hitoshi Kawashima¹

E-mail: s-gozu@aist.go.jp

我々は今までに分子線エピタキシ (MBE) 法で成長した InP 基板上 InGaAs/AlAsSb 材料系結合量子井戸で通信波長帯動作をするサブバンド間遷移超高速全光スイッチの研究を行ってきた [1]。通信波長帯光 ($= 1.55 \mu\text{m}$) はエネルギーに換算すると 0.8eV にも達するため、結合量子井戸の各層は $2\text{-}3\text{nm}$ から数分子層の薄さで正確に形成する必要がある。しかし、実際に MBE 成長を行うと設計通り正確には形成されていない。本来なら禁制な遷移が光吸収測定において観測されるのがその理由である [2]。その原因の一つとして、シャッタートランジエント (ST) [3] による影響が考えられる。ST はセル内の温度勾配が起源で、シャッター開閉で原料表面温度が変化する事が具体的な原因である。この影響を評価するために、我々は超格子サンプルの成長と X 線回折測定によって InGaAs の時間依存成長レートの評価を行った [4]。その結果、成長初期は成長速度が遅く、時間と共に成長速度が一定の値に上昇する成長時間依存成長レートの評価に成功した。しかし、超格子サンプルを使用しているため全体の平均値しか評価出来ず、真の意味で過度現象を評価できたわけではない。これは、X 線回折測定による膜厚測定に周期構造が必要である事に起因している。そこで今回は、周期構造を必要としない X 線反射率測定によって評価を行い、ST の考察を行ったので報告する。サンプルは単一結合量子井戸構造とし、成長条件が異なる 2 種類 (CDQW(1),(2)) を MBE 成長で作製した (図 1)。

InP 10nm cap by In (2)
InGaAs 30sec by In (1)
AlAs 3.7sec
InGaAs 30sec by In (1)
InP 50nm buff. by In (1) or In (2)
InP sub.

図 1 作製した結合量子井戸、成長膜厚 (時間) と使用した In セル

この 2 種類のサンプル間で結合量子井戸構造の違いはないが、2 本の In セルを交互に使用して InP バッファ層の成長を行った。具体的には CDQW(1): In_{0.8}Ga_{0.2}As 成長で使用する In(1)、CDQW(2): In_{0.8}Ga_{0.2}As 成長では使用しないもう一つの In(2) で InP バッファ層の成長を行った。この違いは CDQW(2) において、In_{0.8}Ga_{0.2}As 成長時に初めて In(1) のシャッターが開く状況にするためである。X 線反射率測定は表面酸化膜の影響等で最表面層の評価が難しい。従って InP cap 層の厚さは正確性に欠ける。一方 In_{0.8}Ga_{0.2}As の膜厚はサンプルによって、また上下 2 層の間で異なっている (表 1)。

表 1 X 線反射率測定結果より求められた各層の厚さ (nm)

層	CDQW(1)	CDQW(2)
InP cap. 10nm	10.8	11.1
In _{0.8} Ga _{0.2} As 30 sec	2.90	2.73
AlAs 3.7 sec	0.41	0.41
In _{0.8} Ga _{0.2} As 30 sec	3.18	3.35
InP buff. +sub.	N/A	N/A

また、傾向として In_{0.8}Ga_{0.2}As 成長前にセルシャッターが閉じている時間が長いほどその後の In_{0.8}Ga_{0.2}As 層が厚くなっている。従って、シャッターが閉じている時間に応じて原料表面温度が上昇し、シャッターが開いた後、過度的に多量の原料を供給している事がわかる。この結果は以前の結果 [4] と一見矛盾している。しかし、今回の検討は真に成長初期を評価したためであると考えている。

[1] 秋本, 物集, 石川, 応用物理, **79**(2010)0225.

[2] 牛頭, 物集, 石川, 第 58 回応用物理学関係
連合講演会 26a-BN-7

[3] J. N. Miller, JVST B, **10**(1992)803., T.
Roch *et. al.*, CEJP, **5**(2007)244.

[4] 牛頭, 物集, 石川, 第 72 回 応用物理学会
学術講演会 31a-ZA-4