

ミニバンド構造を有する結合量子井戸のサブバンド間遷移光吸収特性 Intersubband transition of coupled double quantum well having miniband

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

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

我々は InP 基板上 InGaAs/AlAsSb 結合量子井戸構造を利用して、サブバンド間遷移 (ISBT) による超高速全光位相変調器の研究を行ってきた⁽¹⁾。しかし、III 族が Al100% であること、通信用光デバイスで一般的でない Sb をバリア材料で使用していることが、集積デバイス実現に向けた懸念の一つであった。この問題を解決するために、Sb フリー、バリア層の平均 Al 組成を下げた、InGaAs 井戸・AlAs/InAlAs 複合バリアを使用した結合量子井戸を提案し、1.55 μm 帯の光吸収を得ることに成功した⁽²⁾。さらに量子準位計算によって、複合バリアを使用する結合量子井戸はミニバンドを形成していることも明らかにした⁽³⁾。一方、ミニバンド形成によるサブバンド間遷移光吸収特性変化の詳細はわかっていなかった。そこで本研究では、ミニバンド形成時の光吸収スペクトルを計算し、実験結果と比較したので報告する。

今回計算した構造を図 1 左に示す。複合バリア構造の影響をあきらかにするために、井戸層・結合バリア層の構造は同一にした。計算したバンドの分散関係を図 1 右に示す。AlAsSb と比較して InAlAs を使用したとき、高次準位で大きい分散があり、ミニバンドの形成が確認できる。

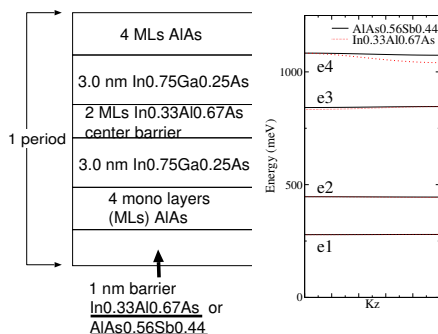


図 1 (左) 計算した結合量子井戸構造と (右) 計算によって求めた伝導体バンド分散関係

我々の結合量子井戸構造⁽¹⁾では e1-e4 準位間の遷移を利用して通信波長帯動作をする。図 1 右に示した通り、InAlAs を利用した複合バリアでは e4 準位に大きい分散がありその影響を調べる必要がある。そこで、e1-e4 準位間の双極子モーメント (z_{14}) を計算した。(図 2 上)

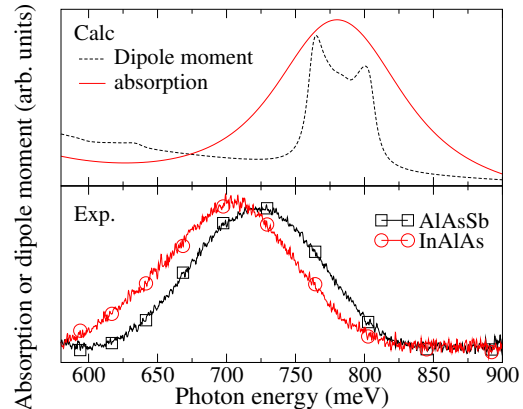


図 2 (上) 複合バリア結合量子井戸の双極子モーメントと光吸収計算結果、(下) 結合量子井戸サンプルの光吸収測定結果

z_{14} はミニバンドに対応して 40 meV 程度の幅を持ち、その低・高エネルギー端にピークを示す⁽⁴⁾。この双峰性に対応して光吸収特性も影響を受けると考えられるが光吸収測定実験ではその様な事はない(図 2 下)。光吸収スペクトルは 100 meV 程度の半値全幅を示した。この値は井戸に 1 原子層のゆらぎがある時の量子準位ゆらぎにほぼ等しい。そこで、この半値全幅とドーピング量から計算したフェルミ準位を取り込んで光吸収スペクトルを計算した(図 2 上)。その結果、ピーク位置の違いはあるが、スペクトル形状は良い一致を示すことが確認できた。したがって、構造揺らぎによってミニバンドの影響は平均され、ミニバンドを形成しない場合と同等の光吸収特性を示すことがわかった。一方、e1, e4 準位は各々束縛、非束縛準位である。そのため、e4 準位の電子は電界によって取出す事も可能で、電気的にサブバンド間遷移を検出できる可能性もある。

謝辞：本研究は JSPS 科研費 26420333 の助成を受けたものです。

- 1) 秋本, 物集, 石川, 応用物理, **79**(2010)0225.
- 2) 牛頭他, J. Cryst. Growth. **378**(2013)134.
- 3) 牛頭他, 2013 年春季 (第 60 回) 応用物理学会, 29a-PB6-12.
- 4) Helm et. al, Phy. Rev. B **48**(1993)1601.