光アンテナを搭載した量子井戸構造での反射率測定
Reflectance measurements of quantum wells with optical antennas

立命館大理工 [1]，和歌山大システム工学 [2]，物質・材料研究機構 [3]，梅森信行 [1]，宮田純一 [1]，山本悠人 [1]，笠原健一 [1]，尾崎信彦 [2]，池田直樹 [3]，杉本喜正 [3]
College of Science and Technology, Ritsumeikan University[1], Faculty of System Engineering, Wakayama University[2], National Institute for Materials Science[3],
N. Umemori[1], J. Miyata[1], Y. Yamamoto[1], K. Kasahara[1], N. Ozaki[2], N. Ikeda[3], and Y. Sugimoto[3]
re0037rr@ed.ritsumei.ac.jp

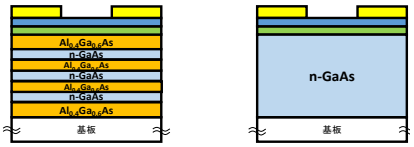
はじめに

温室効果ガスや排気ガスを検出する中赤外域の光源として量子カスケードレーザが開発されているが、それを受ける光検出器の性能は感度や応答速度の点では不十分である。そのために光アンテナと量子井戸のサブバンド間遷移を利用した光検出器を検討している。これまでは光アンテナによって作り出される電界の深さ方向依存性を調べてきたが [1]、今回は実際に量子井戸構造に円形スロットアンテナを搭載した素子を作製し、反射スペクトルから光の吸収特性を調べた。

測定結果と考察

図 1 に作製した素子の断面図を示す。(a)では 8.9nm 厚の n-GaAs(水色)量子井戸が三層形成されており、作製には MBE を用いた。ドーピング濃度は $2\times10^{17}cm^{-3}$ である。バリア層にはアンドープ $Al_{0.4}Ga_{0.6}As$(橙色)を用いた。半導体最上部にはプロセスの関係上、数 nm 厚の Al_2O_3 を原子層堆積法で積層した。(b)は比較のために作製した量子井戸を持たない構造であり、(a)のバリア層に相当する領域も n-GaAs としてある。光アンテナは光の入射方向の依存性がないように円形スロットアンテナを三角格子状に並べた [2]。測定には FTIR を用い、量子井戸ありと量子井戸なしの反射スペクトルを測定した。その結果、スペクトルにはアンテナ間隔に伴う明瞭な反射率低下とそれに伴う窪みが確認できたが、サブバンド間遷移の効果はこれに埋もれて 2 つの反射スペクトルには大きな差は見られなかった。そこで (a)の素子と(b)の素子の反射率の差分をとったところ、スペクトルの違いを検出することができた。図 2 はアンテナ直径が 1.9μm、周期が 2.9μm の素子での差分スペクトルを示している。光は三角格子の辺方向に入射した。同図(a)は偏光子を入れないときの結果であり、$1120cm^{-1}$ にピークを持った特性が得られている。8.9nm 厚の GaAs 三層量子井戸構造での第一準位と第二準位間の遷移は計算では $1250cm^{-1}$ となる。MBE による層厚制御の点から実際の膜厚は設計値からずれていることが予想されるものの、期待していた吸収特性は見えず、一見すると分散特性のようなスペクトルが見えている。図 2(b)、(c)は偏光子を入れた時の結果であり、前者は入射光が s 偏光、後者は p 偏光の場合である。両者を比べると p 偏光の方が s 偏光に比べて差分スペクトルの変化が大きいものの、共に反射率の増大が生じていて、吸収特性が表れているようには見えない。

量子井戸中のサブバンド間遷移は量子井戸界面に垂直方向の電界によって起こる。したがって p 偏光の方が本質的に遷移確率が大きくなるはずである。測定では s 偏光に対しても信号が出ているが、これはアンテナ側壁を通じて界面に垂直方向の電界成分が作られるためである。しかしながら単純な反射率の低下が観測されていないことは確かである。この理由としてアンテナの共鳴特性とサブバンド間遷移によるファノ効果が出現しているのではないかと考えている [3]。ファノ効果が生ずればアンテナの共鳴特性と遷移波長のずれに伴って反射スペクトルは変化する。



(a)量子井戸あり (b)量子井戸なし

図 1 素子構造

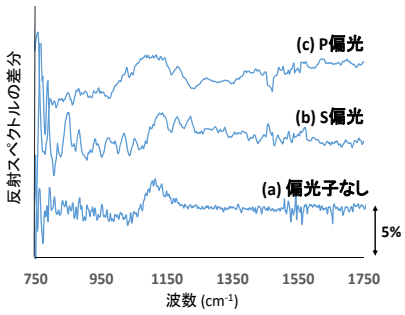


図 2 反射スペクトルの差分

まとめ

円形スロットアンテナを搭載した素子の反射率を量子井戸の有無で比較した。差分をとった結果、スペクトルの変化を確認できたが反射率が低下していないことからファノ効果による影響と推測している。

参考文献

1) Y. Nishimura et al., *Opt. Commun.*, 349, pp. 98-104, 2015.
2) W,-Wu et al., *Appl. Phys. Lett.*, 96, 161107, 2010.
3) Y. Chen et al., *Appl. Phys. Lett.,* 104, 031113, 2014.

© 2016年 応用物理学会