



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	2次元フォトニック格子のバンド構造と透過スペクトル
Author(s)	迫田, 和彰
Citation	電子科学研究, 3, 63-64
Issue Date	1996-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/24347
Type	departmental bulletin paper
File Information	3_P63-64.pdf



2次元フォトリック格子のバンド構造と透過スペクトル

量子機能素子研究分野 迫田和彰

周期的に変調された誘電率をもつ物質（フォトリック格子）中では、電磁モードの存在しない周波数領域を作り出すことが可能である。このような物質では光の自然放出が抑制されるなど、極めて特異な新現象が数多く予言されており、また、低しきい値・高効率の半導体レーザーへの応用などが期待される。本研究では2次元格子について数値解析を行ない、バンドギャップや非結合モードに起因する低透過率領域の存在等、フォトリック格子の基礎的な光学特性を明らかにした。

1. はじめに

原子が周期的に配列した結晶中における電子の場合と同様に、周期的に変調された誘電率をもつ物質（フォトリック格子）中の電磁場はフォトリックバンドを形成する^[1-3]。誘電率が一定の条件を満たすと、電磁モードの存在しない周波数領域（フォトリックバンドギャップ）が現れ、自然放出や双極子相互作用の抑制、フォトンと原子の束縛状態やギャップ内局在モードの出現等の、特異な新現象が理論的に予測され、その一部は実証されつつある。特に、レーザー発振に関する電磁モード以外について自然放出を抑制することにより、低しきい値・高効率の半導体レーザーへの応用が期待されることから、この数年フォトリック格子に関する研究が活発に行なわれてきた。

光の波長オーダー（サブマイクロオーダー）での誘電率の大きな変調が難しいため、純理論研究を除くと、これまでの研究は試料作製の容易なマイクロ波領域を対象にしてきた。最近、当研究室においてキャピラリープレート^[4]の作製技術を利用して、近赤外部にギャップをもつ2次元フォトリック格子の製作に成功した^[1-3]。本小文では、これに関連して申請者が行なった、2次元格子のバンド構造と透過スペクトルの数値解析を中心に解説する。

2. バンド構造

図1に、酸化鉛（誘電率2.7）中に形成した円柱空洞から成る、2次元正方格子のバンド構造の計算結果を示す^[4]。光には2つの偏光状態が存在するが、図1には磁場が円柱軸に平行（H偏光）の場合を示した。バンド構造は、フォトリック格子中の電磁場と周期的に変調された誘電率をフーリエ展開してマクスウェル方程式に代入し、得られた固有値方程式を数値的に解いて求めた（平面波展開法）。図1には、群論から求まる固有モードの空間対称性も合わせて示した。例えば、Aと記したモードでは、円柱軸と光の波数ベクトルが張

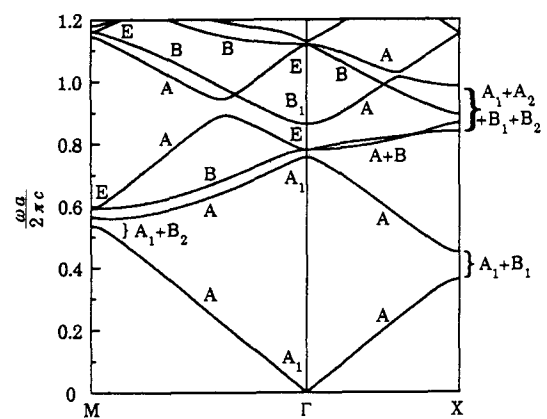


図1 円柱空洞から成る2次元正方格子のフォトリックバンドの一例。磁場が円柱の軸に平行（H偏光）の場合。縦軸は、格子定数 a と光速 c で無次元化した光の周波数。

る平面に関して波動関数が対称，Bと記したモードでは反対称である。

3. 透過スペクトル

同じく，平面波展開法を用いて，透過，反射，および，ブラッグ散乱スペクトルを計算することが出来る^[5,6]。図2は，図1で想定した試料の反射スペクトルで，正方格子の対角線方向（図1では Γ 点からM点方向に相当）に光が入射する場合の計算結果である。図中，黒丸はH偏光，白丸はE偏光（電場が円柱軸に平行）の場合を示す。この図で特徴的なことは，周波数（格子定数 a と光速 c を用いて無次元化）が $0.9 \sim 0.95$ にかけて，高反射率の領域が見られることである。この領域にはBモードがそれぞれ1つだけ存在するが，入射平面波が前記の鏡映面について対称であるのに対してBモードが反対称であるため，試料の境界面でミスマッチングが起こり，入射光が試料に侵入できない。このため，このような高反射率領域となって現れる。このことから，Bモードを非結合モードとも呼ぶ。

この他にも，バンドギャップに対応する低透過率の周波数領域などが計算から求まるが，上記の非結合モードによる特徴的なスペクトルと合せて，最近の実験で確認された^[1,7,8]。

4. 今後の展望

以上の研究から，2次元格子の光学特性については

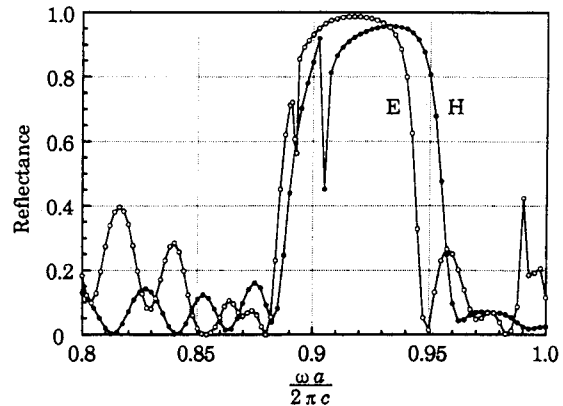


図2 図1の試料の反射スペクトル（計算結果）。黒丸はH偏光，白丸はE偏光の場合。横軸は，無次元化した光の周波数。周波数が $0.9 \sim 0.95$ にかけて，非結合モードに起因する高反射率（低透過率）の領域が見られる。

概ね理論解析を完了した。今後は，3次元格子の光学特性，および，フォトニック格子中における量子光学に重点を移す予定である。また，当研究室では前記の2次元格子に加えて，半導体をベースとする3次元格子の製作に取り組んでおり，冒頭で述べた自然放出の抑制等の新現象について，実験・理論の両面から解明・実証する予定である。

【参考文献】

- [1] 井上，迫田和彰，電子科学研究，2，1（1994）。
- [2] K. Inoue, M. Wada, K. Sakoda, A. Yamanaka, M. Hayashi, and J. W. Haus, Jpn. J. Appl. Phys., 33, L1463 (1994).
- [3] 井上，迫田，和田，固体物理，30，131（1995）。
- [4] K. Sakoda, Phys. Rev. B52, 7982 (1995).
- [5] K. Sakoda, Phys. Rev. B51, 4672 (1995).
- [6] K. Sakoda, Phys. Rev. B52, 8992 (1995).
- [7] M. Wada, K. Sakoda, and K. Inoue, Phys. Rev. B (印刷中)。
- [8] K. Inoue, M. Wada, K. Sakoda, M. Hayashi, T. Fukushima, and A. Yamanaka, Phys. Rev. B (印刷中)。