

有機・無機層状ペロブスカイト量子井戸 LB 膜を用いたキャビティポラリトンレーザ

キャビティポラリトンレーザとは、微小共振器中に、半導体量子井戸を導入した構造をしています。振動子強度の大きな励起子を共振器の光モードと結合しやすい微小共振器の中に導入すると、微小共振器の光モードと励起子が結合子キャビティポラリトンという状態を形成します。図1にこのキャビティポラリトンの分散曲線を示します。分散曲線から、波動ベクトルが0になっても有限の値を示すことがわかります(バルクでは0になります)。ポラリトンは Bose 粒子ですので、この状態を形成すると一番エネルギーの低い波動ベクトル 0 の点へ Bose-Einstein 凝縮が起こります。この点からの発光は位相、方向、波長もそろっているいわゆるレーザ光になります。このように、現在の 4 準位系のレーザとは全く異なった原理でのレーザができることとなります。このレーザは原理的にしきい値がなく、非常に小さなエネルギーでレーザ光が得られます。このレーザは、次世代のフォトニクスには欠かせない光源になるはずですが、現在、化合物半導体系において盛んに研究されていますが、微小共振器の特定の位置に特定の厚さで化合物半導体量子井戸を作り込む必要があります。この素子を作成するには、高度の真空条件下で原子レベルでの成膜技術がいるため非常にコストのかかるものになります。

層状ペロブスカイト薄膜の作製法の一つとして Langmuir-Blodgett 法があります。この手法を用いますと nm スケールで厚みを制御した薄膜を作製することができ、常温常圧で簡単にキャビティポラリトン素子を作製できます。

層状ペロブスカイトは非常に束縛エネルギー(400 meV 程度)の大きな励起子を形成しますが、振動子強度も 0.7 以上と大きなものです。この特徴は、キャビティポラリトンレーザを実現するうえで非常に重要な点です。室温でのキャビティポラリトンレーザを実現するためには、キャビティポラリトン状態が室温でも安定であること、結合の強さを表す Rabi 分裂が室温のエネルギー約 25 meV も大きいことが必要となります。大きな束縛エネルギー及び振動子強度はこれを実現できる可能性を示しています。実際に、層状ペロブスカイト LB 膜を用いたキャビティポラリトン素子(図 2)のシュミレーションを行ってみました。その結果、図 3 に示すように 130 meV と非常に大きな Rabi 分裂が観測されることが予想されました。この結果は、層状ペロブスカイト LB 膜を用いて室温でのキャビティポラリトンレーザが実現可能であることを示しています。現在、室温でのキャビティポラリトンレーザの実現を目指した実証実験を行っているところです。

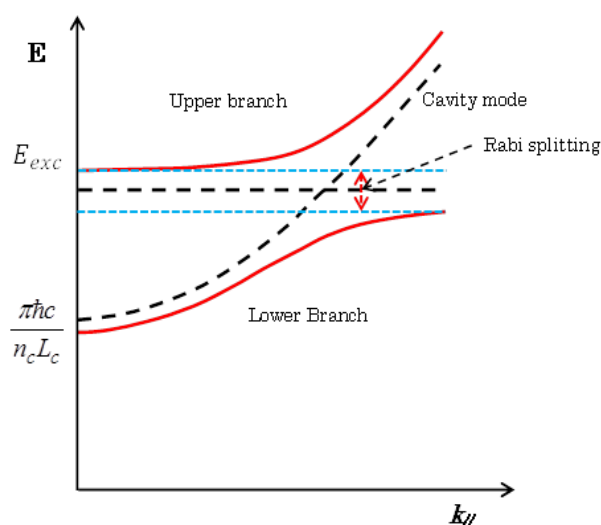


図1 キャビティポラリトンの分散曲線

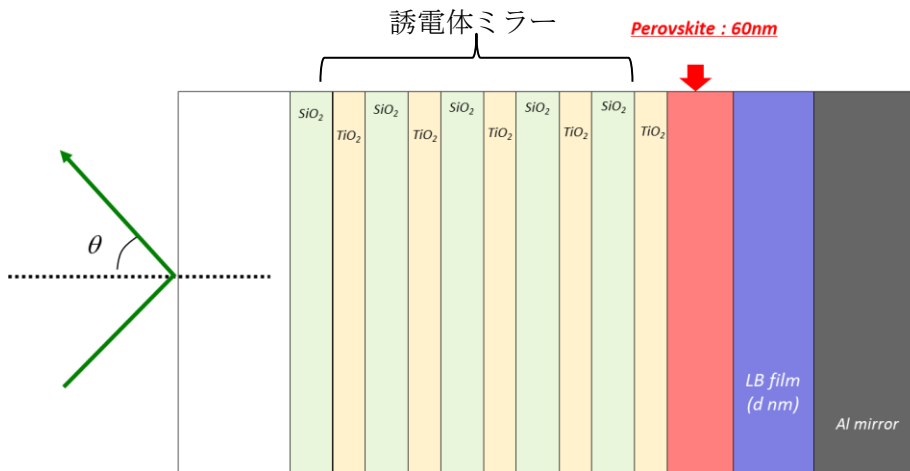


図 2 シュミレーションに用いた素子構造

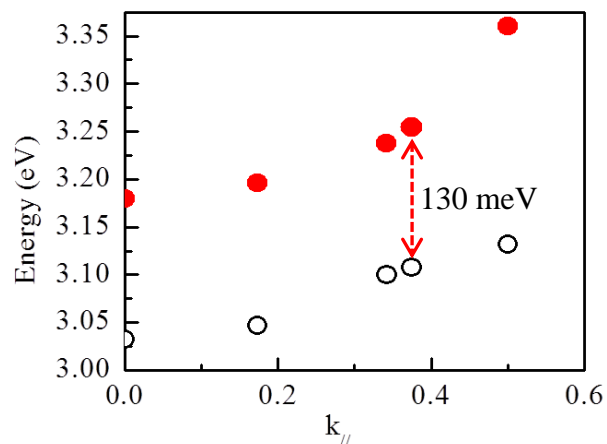


図 3 層状ペロブスカイト LB 膜を用いたキャビティポラリトン素子の分散曲線