

BP1T-CN薄膜を用いたマイクロキャビティの作製と評価

¹奈良先端科学技術大学院大学 物質創成科学研究科

○山本智彩¹, 水野英之¹, 香月浩之¹, 柳久雄¹

Preparation and Evaluation of BP1T-CN Microcavity

○Chisa Yamamoto¹, Hideyuki Mizuno¹, Hiroyuki Katsuki¹, Hisao Yanagi¹

¹Graduate School of Materials Science, Nara Institute of Science and Technology, Japan

【Abstract】

Exciton polariton is a quasi-particle defined as the mixture of photons and excitons created by the strong coupling with each other. Recently, the strong coupling of organic layers and 1D microcavity (distributed Bragg reflector) attracts much attention from the viewpoint of both fundamental science and opto-electronic applications. In this study, we try to fabricate a strong coupling structure using (2,5-bis(4'-cyanobiphenyl-4-yl)thiophene) micro-crystal as an active-layer. The precise control of the thickness is very important to have an efficient strong coupling. The micro-crystal layer is prepared by the vacuum deposition followed by thermal annealing process. The typical size of the crystal is 20~30 μm . The optical property of the microcavity system is evaluated by the angle-dependent reflectivity and fluorescence measurements.

【はじめに】

有機半導体は無機半導体に比べ、大きな励起子束縛エネルギーと振動子強度を持つことが知られている。光の波長程度のキャビティ長を持つマイクロキャビティ中に同じ波長の光で共鳴遷移を示す活性媒質を挟むと、光子と励起子が強く結合した結果励起子キャビティポラリトンを生成する。最も単純なマイクロキャビティは誘電体多層膜からなる Distributed Bragg reflector (DBR)ミラーで活性層の両側を挟んだ一次元のキャビティである。 π 共役オリゴマーである Thiophene/Phenylene Co-Oligomer(TPCO)結晶は室温、大気下で安定であり可視領域で高い蛍光収率を示す。しかし通常の TPCO結晶中では分子軸に沿った遷移双極子モーメントが結晶面に対し直立に配向し、結晶端面で共振するため、垂直に光を共振させるマイクロキャビティには適さない。一方、分子末端をシアノ基で置換した TPCO 結晶である、BP1T-CN(2,5-bis(4'-cyanobiphenyl-4-yl)thiophene)では、分子軸は(001)面で基板面に接しており 22° 傾いて配向し面発光することが報告されており[1]、DBR ミラーで光を閉じ込めるマイクロキャビティに用いる活性媒質の材料として適している。BP1T-CN 結晶は p 型 TPCO 結晶とは異なる三斜晶系に属し、成長面の異なる針状と板状の 2 種類の形態を持つ。しかし、BP1T-CN を活性媒質として利用した励起子キャビティポラリトンの研究では、これまでに活性層が 500 nm から 1000 nm の厚さでの報告[2]はあるが、それより薄い活性層の報告はされていない。より効率よく光と励起子の相互作用を実現するためには厚さ 100~200 nm 程度の薄膜の作製が重要である。

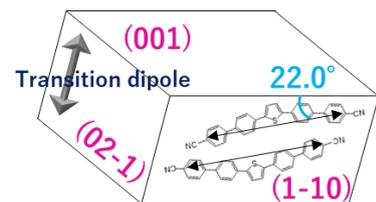


Fig.1 Molecular structure of BP1T-CN

本研究では、100~200 nm 程度の厚さを持った BP1T-CN 薄膜を用いたマイクロキャビティを溶融成長及びアニーリング法により作製することを目的とする。

【方法 (実験・理論)】

SiO₂/Ta₂O₅を積層したストップバンド 450~550 nm を持つ反射率 90% の DBR ミラー上に BP1T-CN を真空 (4×10^{-4} Pa) 下で熱蒸着し、蒸着した DBR ミラーに同じ DBR ミラーを向かい合わせに重ね合わせて、上から圧力を加え固定する。これを電気炉内に入れ、窒素雰囲気下で 400°C まで加熱し数時間保持することでマイクロキャビティを作製した。溶融成長は最初に基板に蒸着する膜厚を変えることにより結晶厚をある程度制御することが可能である。作製したマイクロキャビティを水銀ランプにより弱励起(365 nm)し、蛍光顕微鏡画像を撮影した。また、白色光源を用いた角度依存反射率計測とナノ秒 355nm レーザー励起後の角度依存蛍光計測を行い、ポラリトンの生成の確認を行なった。

【結果・考察】

基板への蒸着量 360 nm で作製した DBR/BP1T-CN/DBR 構造のマイクロキャビティの蛍光顕微鏡画像を Fig.2 に示す。これは DBR 基板の上に 0.4 Å/sec で BP1T-CN を蒸着し、それぞれ 400°C で 2 時間、4 時間 30 分加熱した後の蛍光顕微鏡画像である。2 時間加熱した場合、基板一面に微小な多結晶が成長していることがわかる(Fig. 2(b))。一方、4 時間 30 分加熱したものはさらに大きなサイズで多結晶が成長している(Fig. 2(c))。偏光測定を行なったところ、各結晶粒が明確な偏光依存性を示していることがわかる(Fig. 2(c,d))。これらのサンプルは冷却後もガラス面が密着しており、キャビティ構造は保持されている。

Fig.3 に 365 nm で励起した場合の蛍光スペクトルを示す。DBR 基板の上に蒸着したもののスペクトル(黒)は 450~600 nm のブロードな発光ピークであるが、2 時間加熱した多結晶膜(橙)と 4 時間 30 分加熱した単結晶膜(灰)は、BP1T-CN の発光ピーク内に狭線化した発光ピークを観測することができた。今後はこれらのサンプルを用い、角度分解蛍光スペクトル等を作製し、マイクロキャビティの評価を行っていく。

【参考文献】

- [1] H. Mizuno, et al., Adv.Opt.Mater. **2**,529 (2014).
- [2] K.Goto, et al, Appl. Phts. Lett. **107**,163303 (2015).

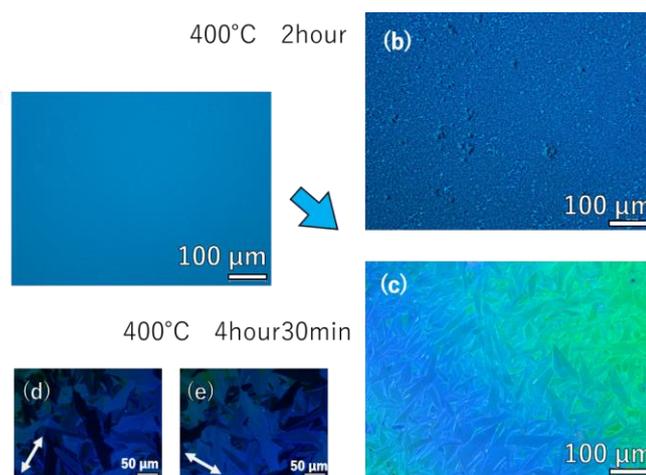


Fig.2 Fluorescence microscope image of BP1T-CN microcavity (a) after vapor deposition, (b) poly crystalline film after 120 min anneal, (c) poly crystalline film after 270 min anneal, (d)(e) polarization dependence of (c).

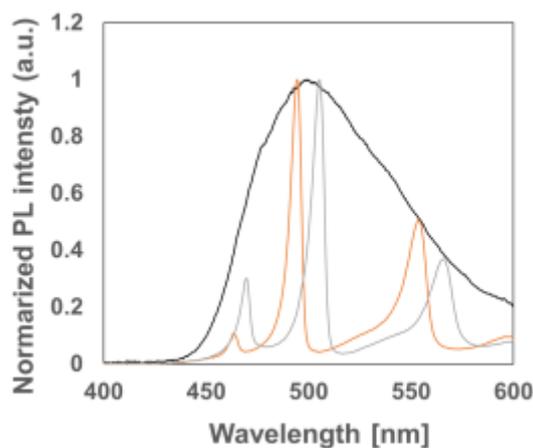


Fig.3 Fluorescence spectra from BP1T-CN (a)-(c) of Fig. 2. Black line: deposited sample, orange: after 120 min anneal, gray: after 270 min anneal.