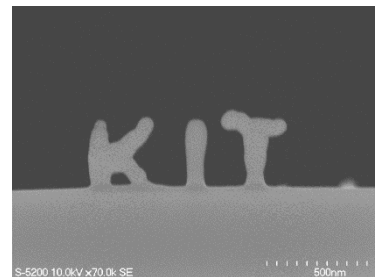


ペロブスカイト系材料による マイクロLEDディスプレイ

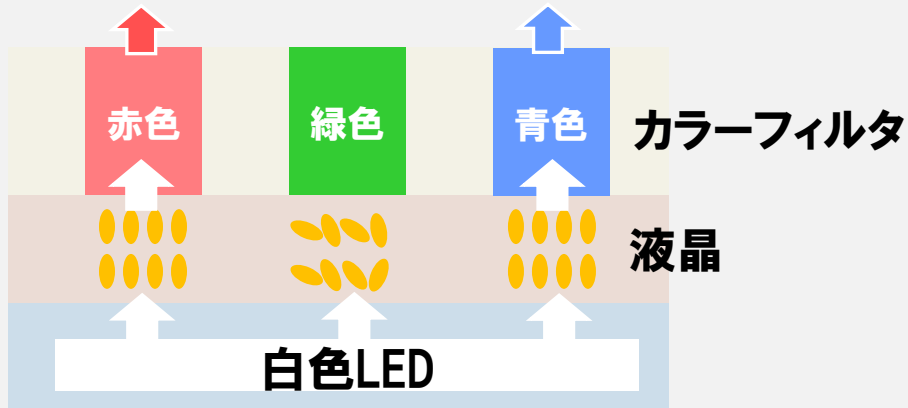
電気電子工学系 西中浩之
山下兼一



ディスプレイ

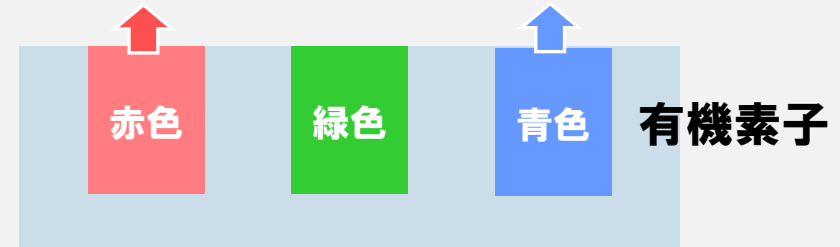
従来のディスプレイ

液晶ディスプレイ



液晶でのロスが大きい

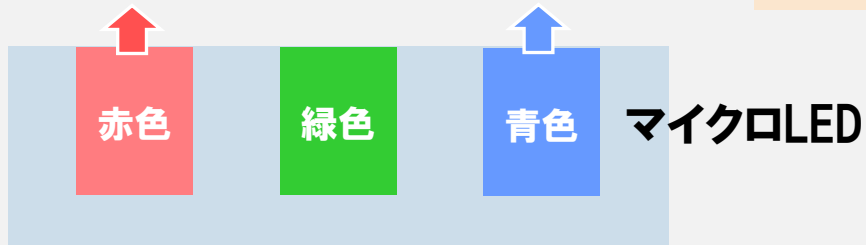
OLED



自発光型で高精細
消費電力があまり低くない
(白色+カラーフィルタもある)

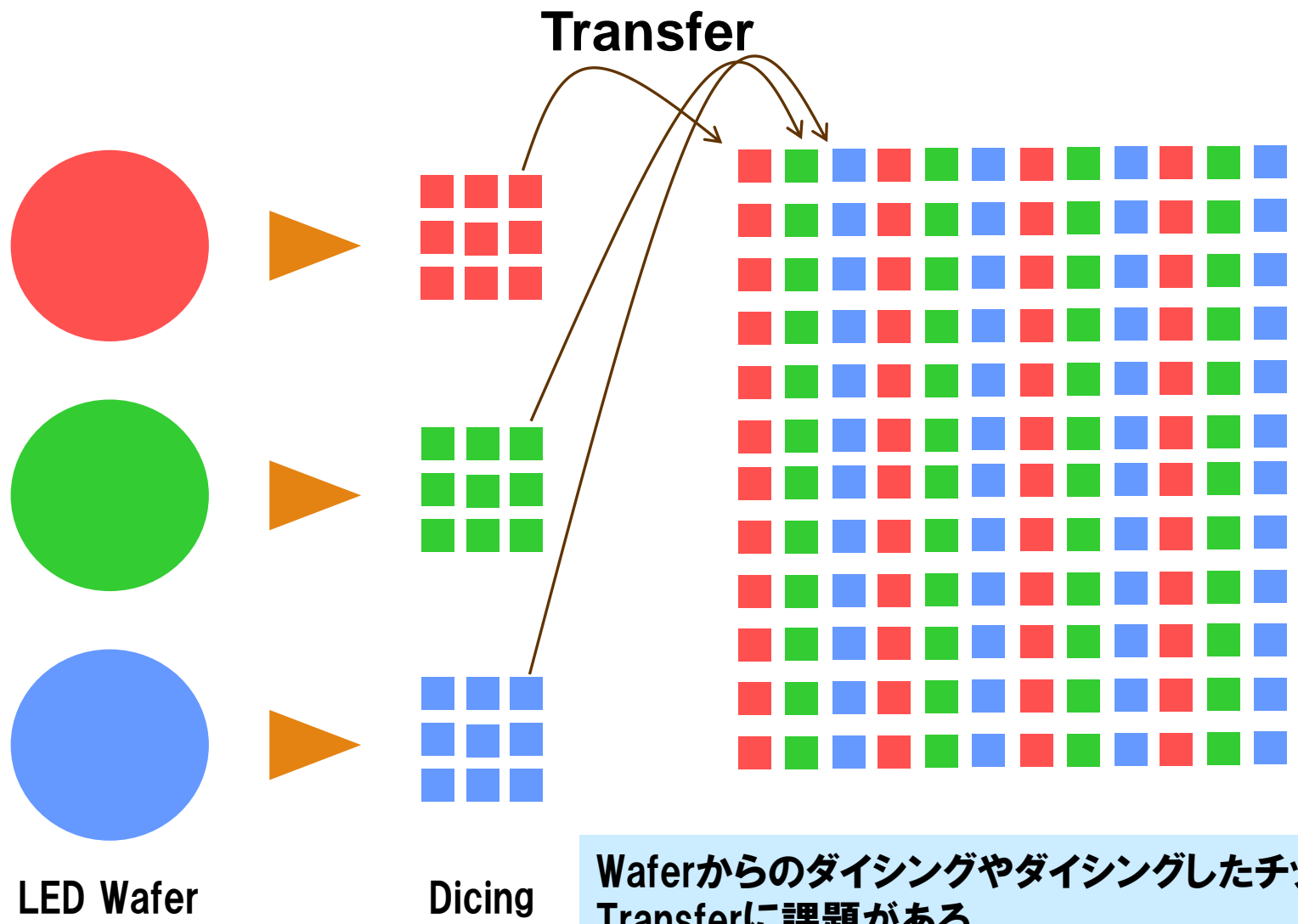
次世代ディスプレイ

マイクロLED



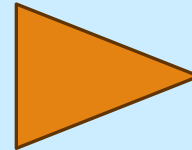
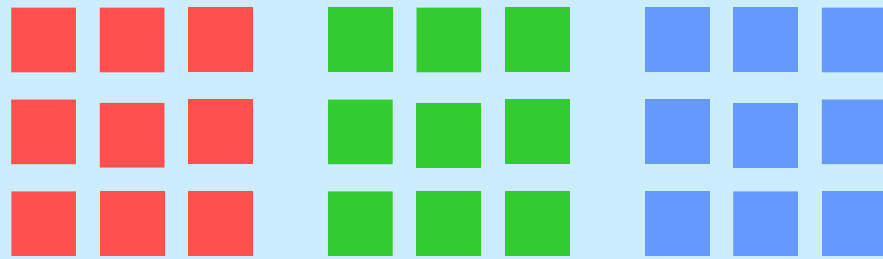
自発光型で高精細
高効率のLEDを利用することで低消費電力

マイクロLEDの課題



Waferからのダイシングやダイシングしたチップの Transferに課題がある

マイクロLEDに向けた研究方針

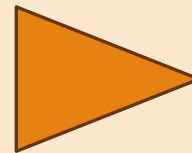
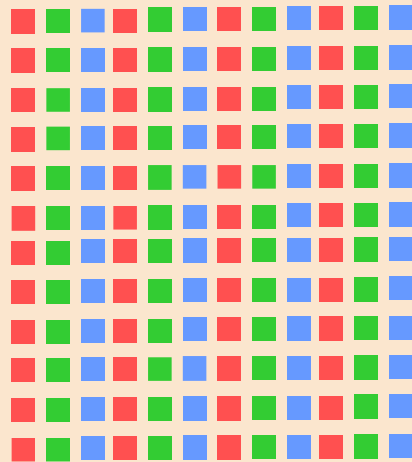


マイクロロッドの結晶成長技術

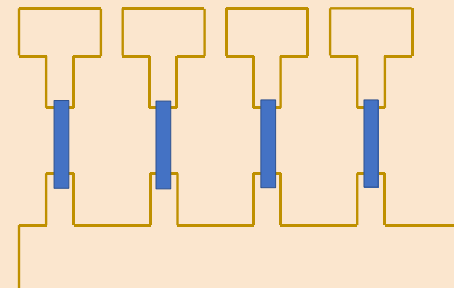


Miniscope2396 2022/10/05 17:31 HL D8.3 x500 200 μm

ダイシングレスで低コスト

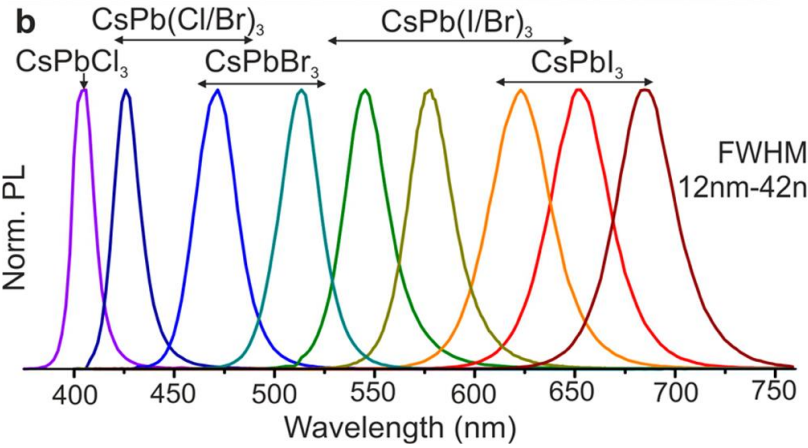
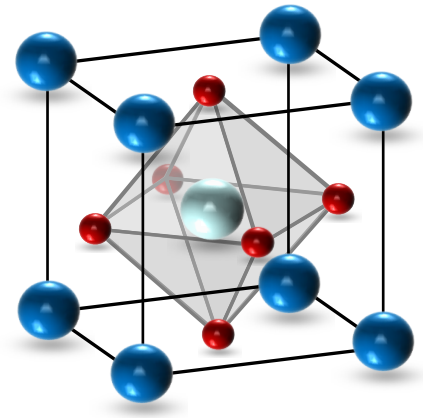


電気泳動を利用した電極固定技術

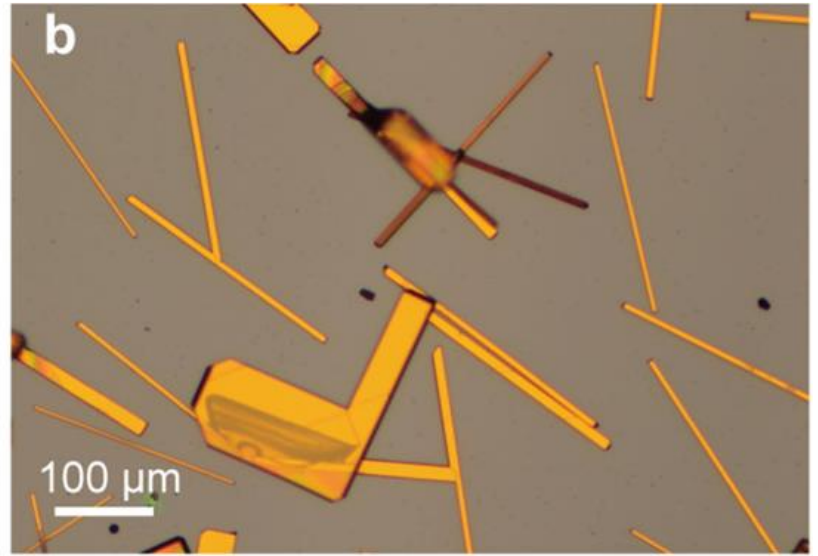


簡易な電極固定技術の提案

ペロブスカイト系材料によるマイクロロッド



3原色発光可能なペロブスカイト材料¹



マイクロサイズの単結晶²

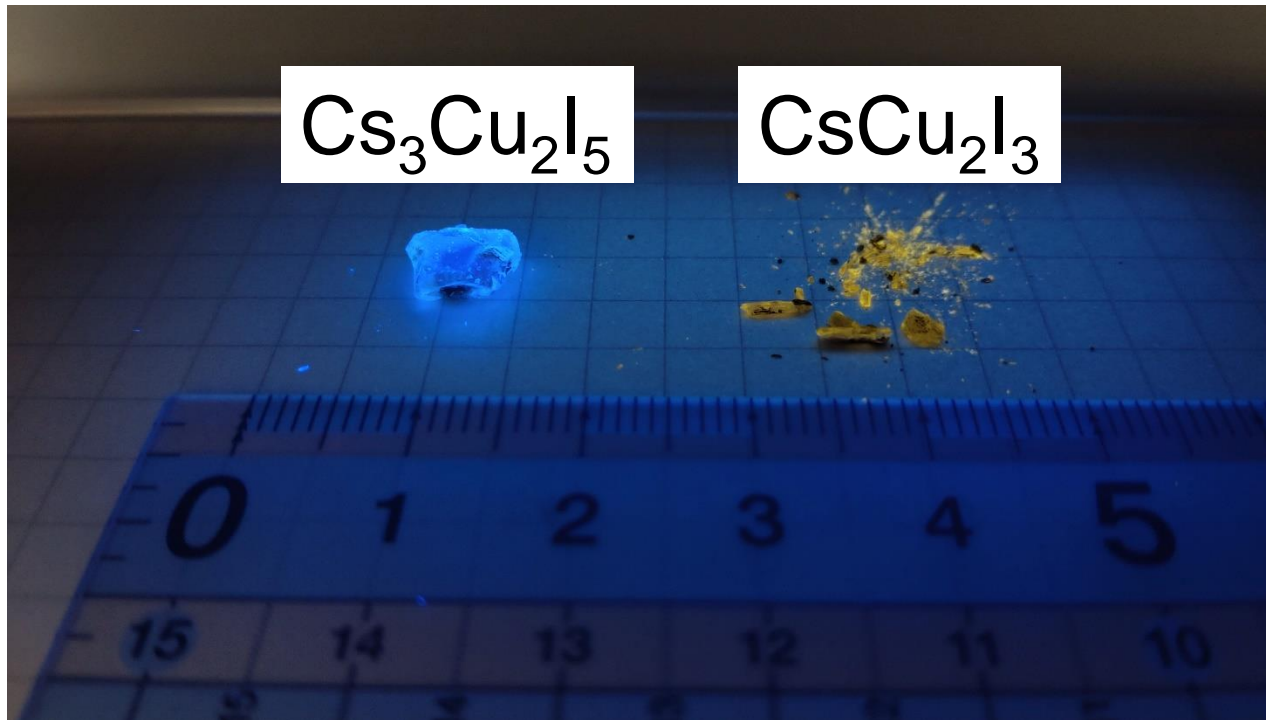
- ペロブスカイト材料の特徴**
- ハロゲン化物を変えることで波長変調可能
 - 液中から低コストでの合成が可能
 - マイクロサイズの単結晶の育成が容易



ペロブスカイトのマイクロLEDディスプレイの基本技術の開発を行う

ペロブスカイト系材料(CsCuI系)

Pbレスのペロブスカイト材料

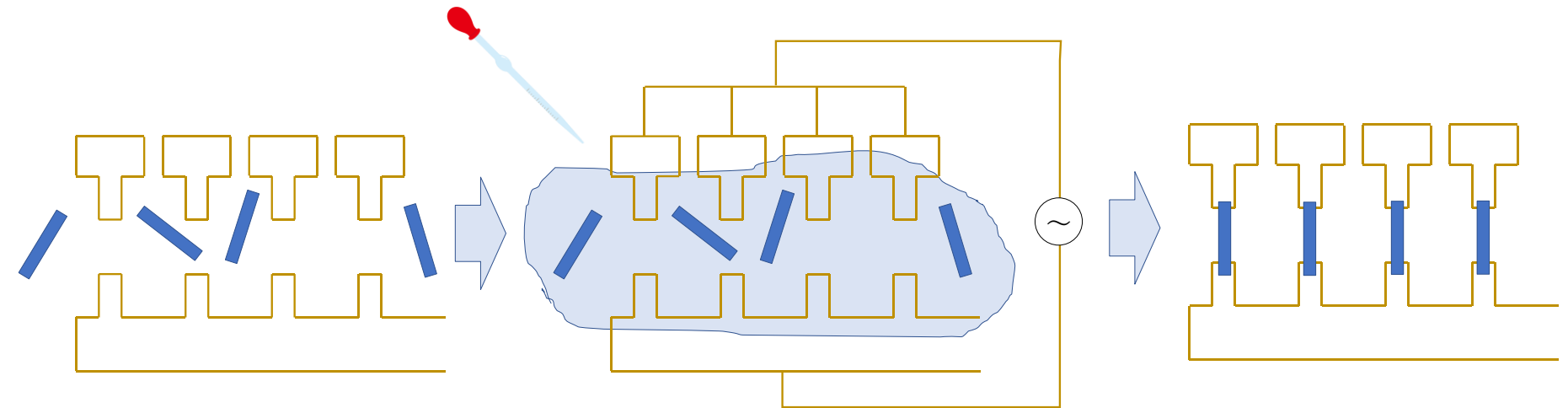


有毒なPbレスのペロブスカイト材料として、青色発光する $\text{Cs}_3\text{Cu}_2\text{I}_5$ と黄色発光する CsCu_2I_3 をマイクロロッド材料として選定した

電気泳動によるマイクロLEDの固定化

・マイクロLEDディスプレイでは作製した小さなLEDを電極間に固定する技術が課題となっている

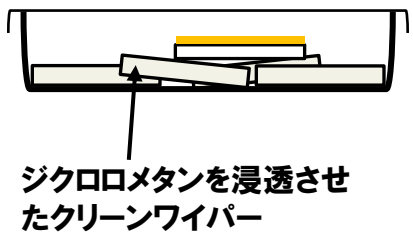
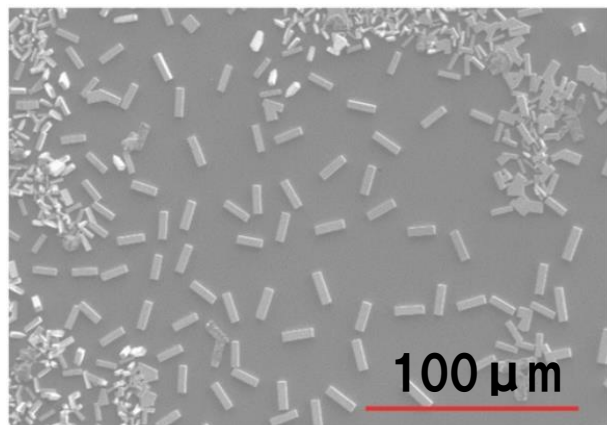
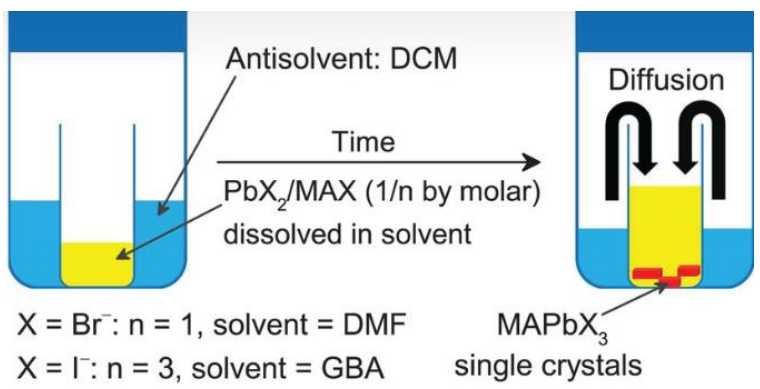
→液体中での電気泳動を用いてマイクロLEDを固定する



ペロブスカイト材料の結晶作製手法

ペロブスカイト系における単結晶形成手法 { 貧溶媒法 (Anti-solvent vapor-assisted crystallization methods)
逆温度結晶化法 (Inverse Temperature crystallization methods)

貧溶媒法 溶解度の低い溶剤の雰囲気下に溶液を設置し単結晶を形成



貧溶媒法の概念図*1

貧溶媒法によるCsPbBr₃マイクロロッド*2

貧溶媒の例:ジクロロメタン*2、メタノール*3など

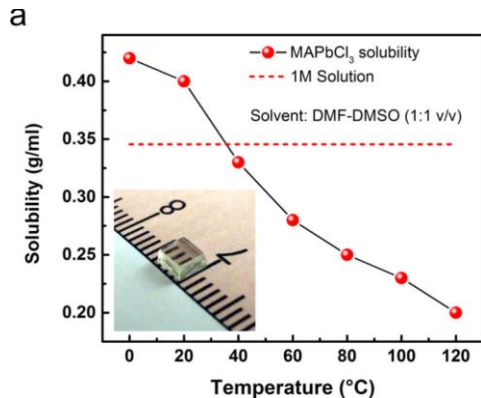
*1 D. SHI ET AL., SCIENCE, 347, 519-522 (2015) *2 S. WANG ET AL., ADV. OPTICAL MATER., 5 1700023 (2017) *3 T. JUN ET AL., ADV. MATER., 30, 1804547 (2018)

ペロブスカイト材料の結晶作製手法

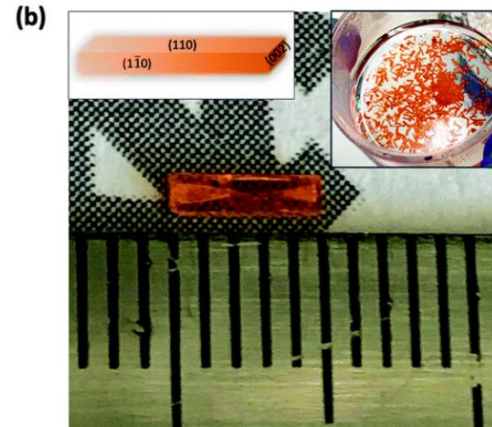
ペロブスカイト系における単結晶形成手法

- 貧溶媒法 (Anti-solvent vapor-assisted crystallization methods)
- 逆温度結晶化法 (Inverse Temperature crystallization methods)

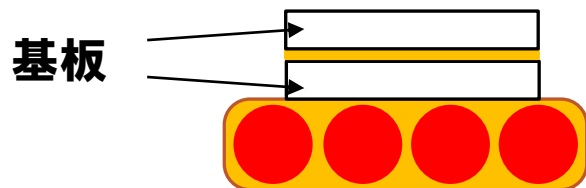
逆温度結晶化法 温度上昇によって溶解度を下げ、単結晶を形成。



MAPbCl₃のDMSO/DMF溶媒に対する溶解度の温度依存*1



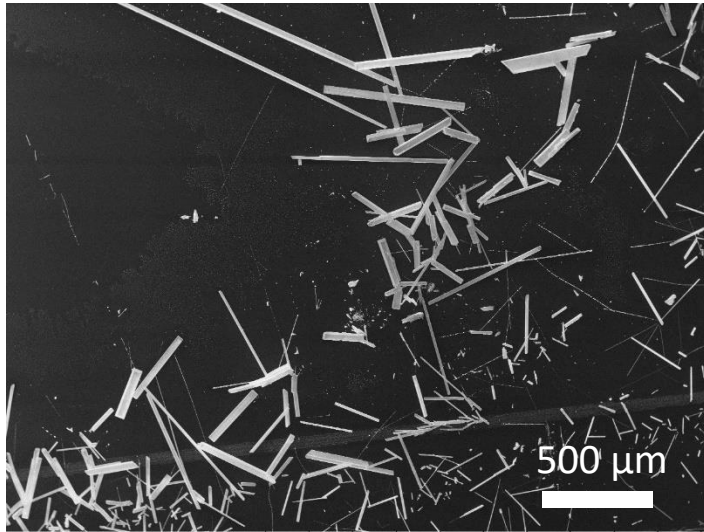
逆温度結晶化法によって形成されたCsPbBr₃単結晶*2



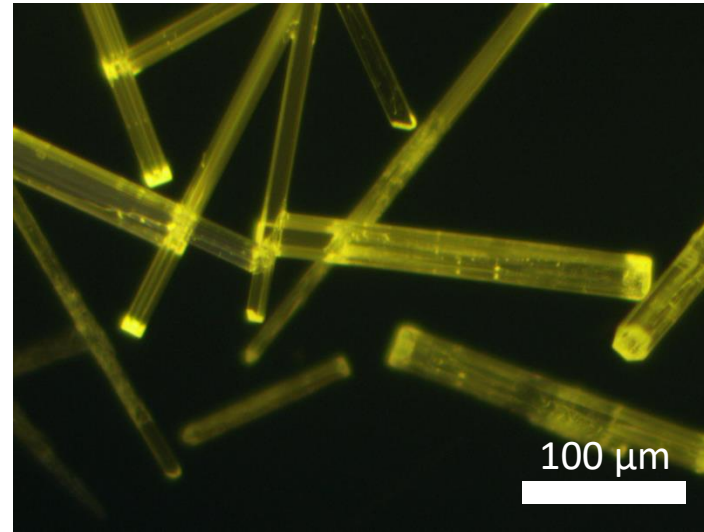
温度上昇による溶媒の蒸発を極力防ぐため、基板などで挟み込むのが主流。

貧溶媒法によるCsCu₂I₃の形成

マイクロロッドのモフォロジー

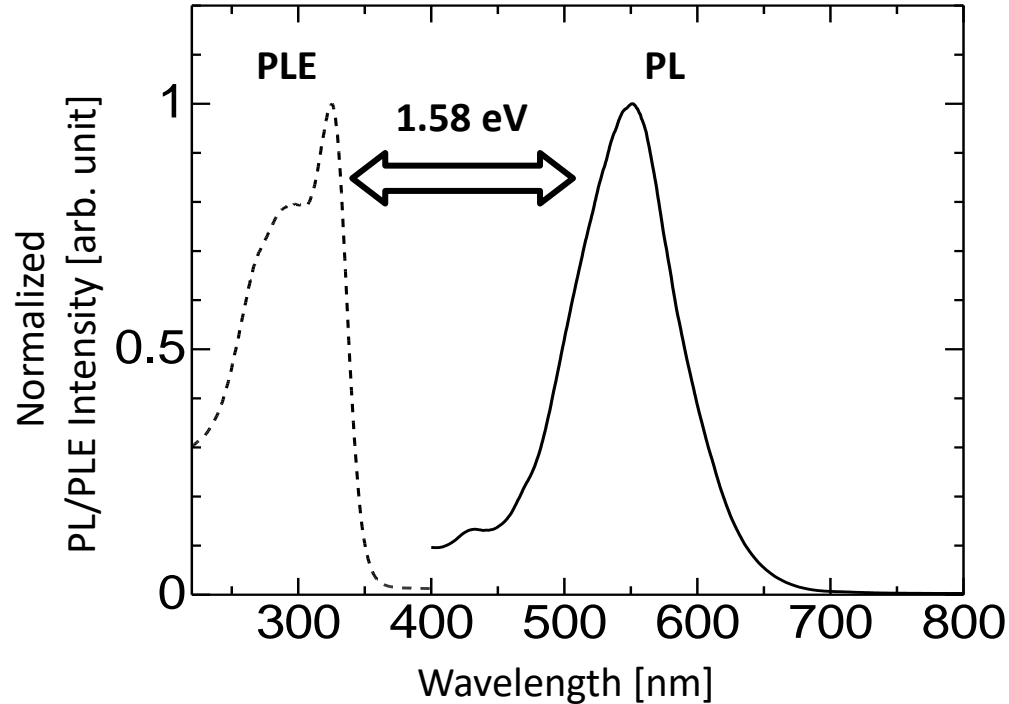


蛍光顕微鏡像(365 nm励起)



石英基板上にマイクロロッドが成長した
マイクロロッドは365 nm UV照射下で黄色発光しており、
CsCu₂I₃が形成されたと考えられる

光学特性評価



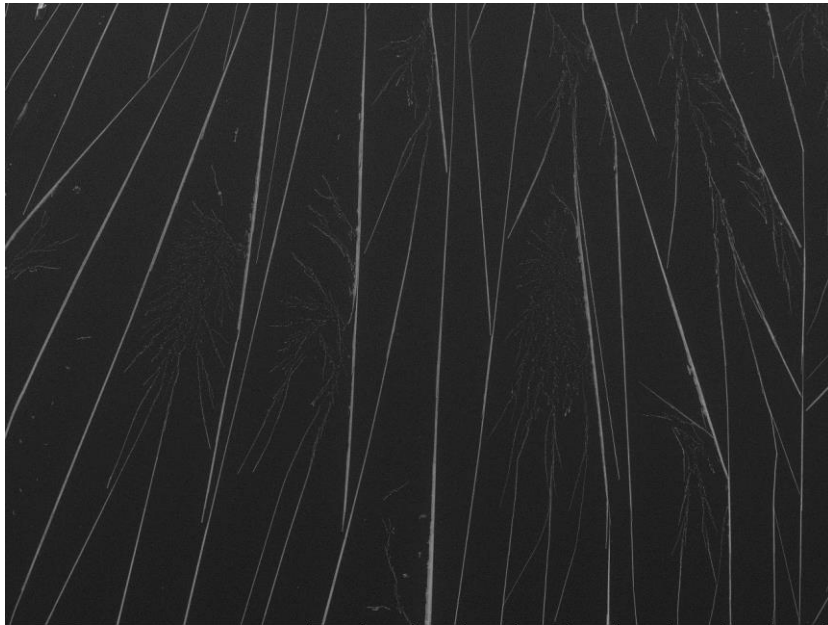
555 nm(黄色)にピークを持つPLスペクトルが観測された。また、PLEでは、325 nmにピークを持ち、1.58 eVの大きなストークスシフトが得られた。CsCu₂I₃の既報と一致している*1

Cs-Cu-I系はBand-to-Bandではなく、自己束縛励起子 (STE) 由来の発光であることが知られており*1、大きなストークスシフトもSTEに起因する

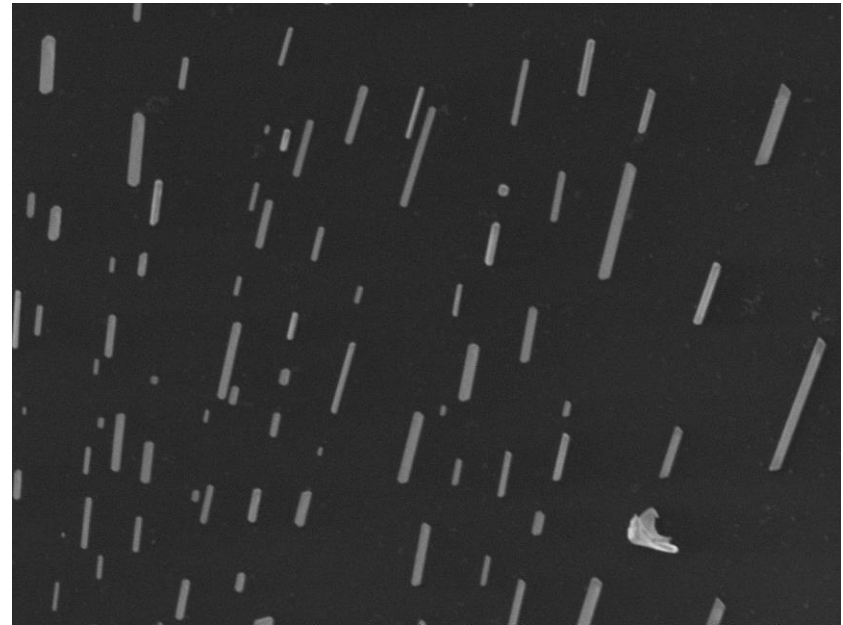
*1 R. Lin et al., Adv. Mater., 31, 105079 (2019)

逆温度結晶化法による $\text{Cs}_3\text{Cu}_2\text{I}_5$ の形成

マイクロロッドのモフォロジー



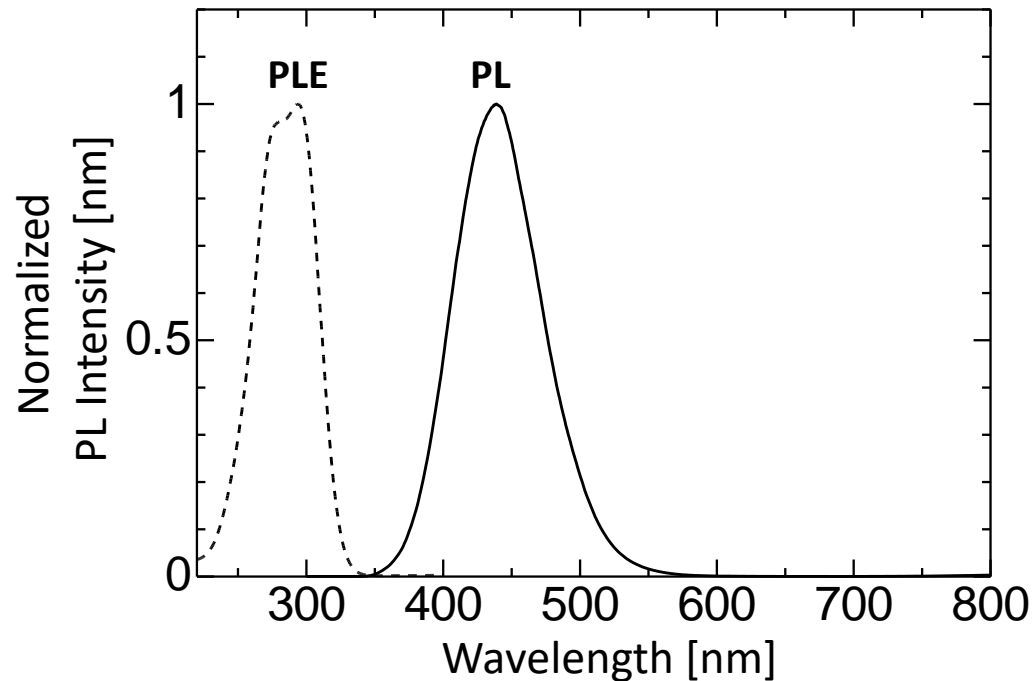
Miniscope2761 2022/12/05 18:51 | MUD8.0 x100 1 mm



Miniscope2826 2022/12/07 20:06 | MUD8.0 x1.0k 100 μm

石英基板上にマイクロロッドが成長した
条件によって長さや太さの異なるナノロッドが形成されている

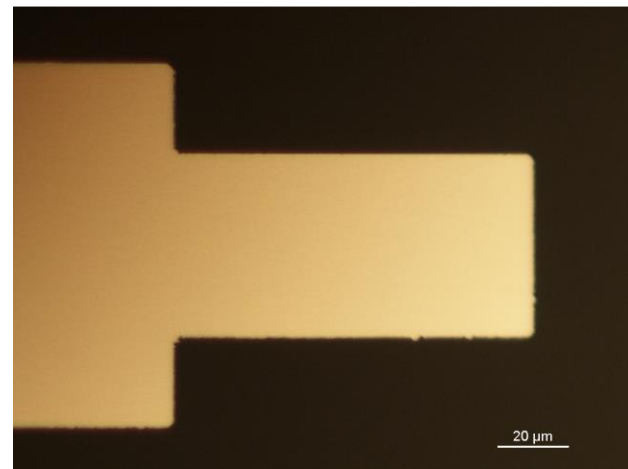
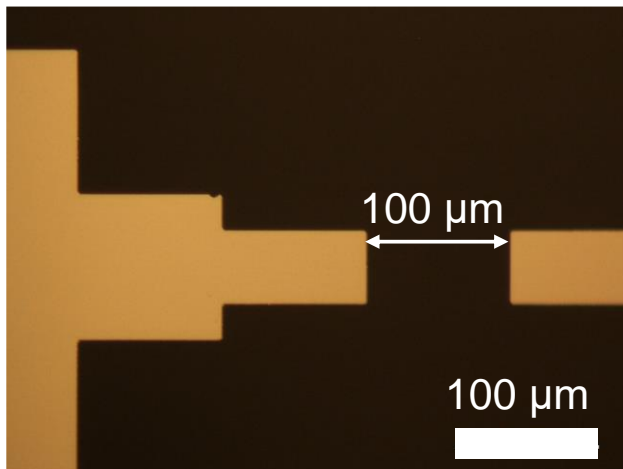
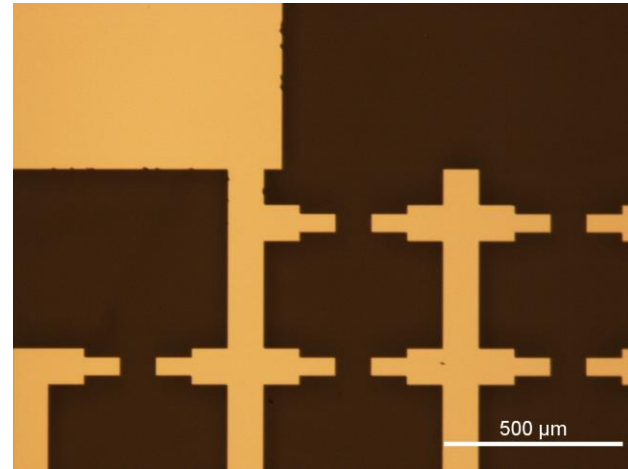
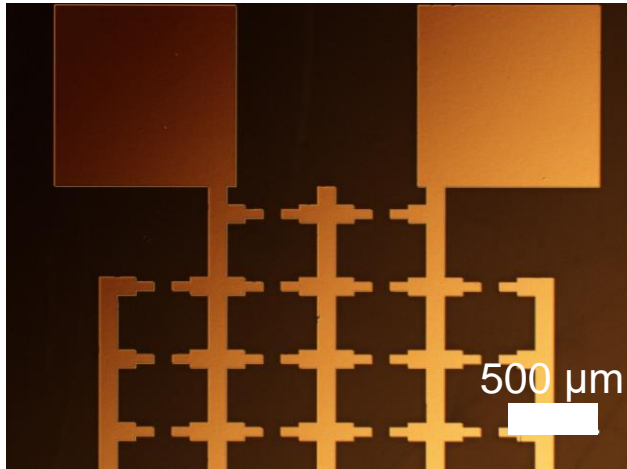
光学特性評価



440 nm(青色)にピークを持つPLスペクトルが観測された。また、PLEでは、285 nmにピークを持ち、大きなストークスシフトが得られた。Cs₃Cu₂I₅の既報と一致している

Cs-Cu-I系はBand-to-Bandではなく、自己束縛励起子 (STE) 由来の発光であることが知られており、大きなストークスシフトもSTEに起因する

メタル配線



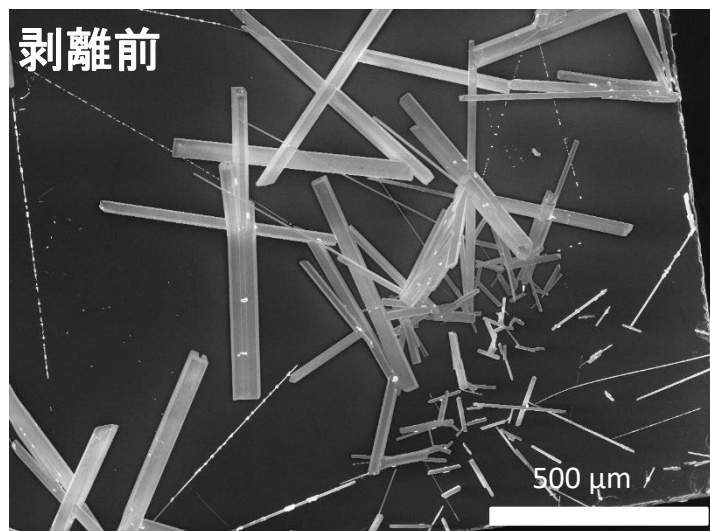
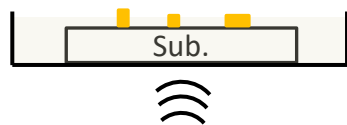
設計通りの電極形成に成功した

超音波による単結晶の剥離

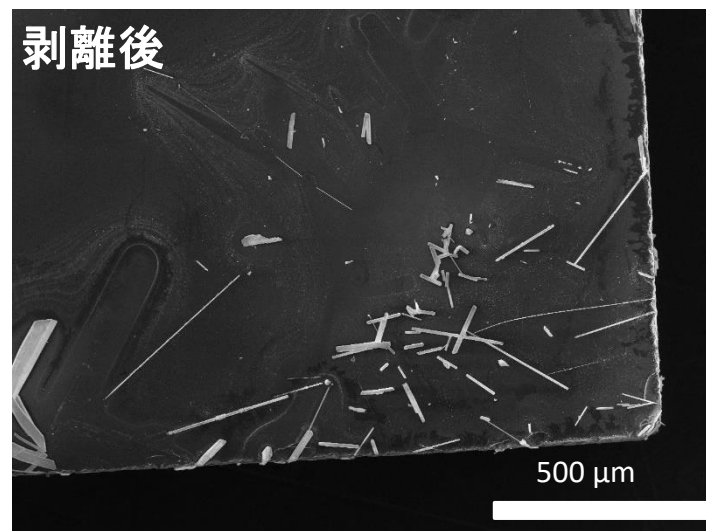
形成した単結晶を基板から剥離する検討

マイクロロッドを形成した基板をアルコールに浸して超音波洗浄をかけることで基板から剥離し液に浮かべる。

➡ $\text{Cs}_3\text{Cu}_2\text{I}_5$, CsCu_2I_3 単結晶の洗浄で報告のあるIPAを採用*1。



超音波



※同一箇所の観察

超音波によってマイクロロッドが剥離し、液中を漂っている様子を目視で確認したSEMで同一箇所を観察すると、明らかにマイクロロッドが移動した痕跡が見られる
→ 今後電極上に電気泳動で固定する検討を進めていく