

2021 Display応用Ink-jet技術動向レポート

シニアアナリスト
占部哲夫

Chief Analyst
Dr. Choong Hoon YI

目次

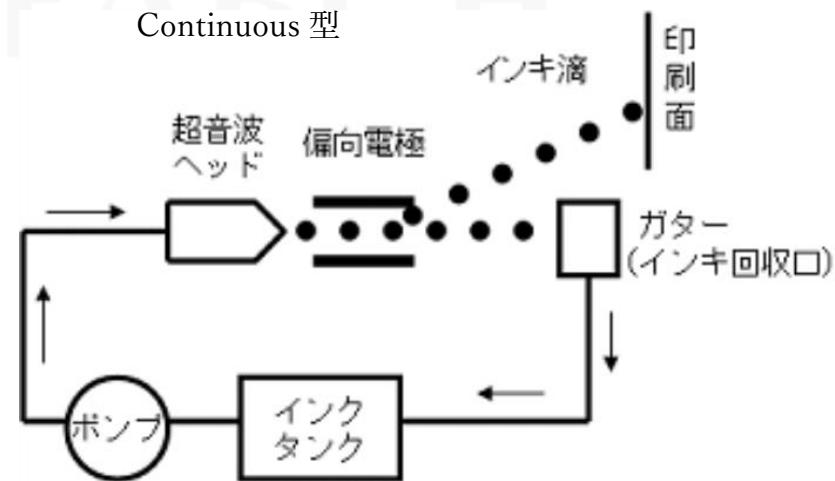
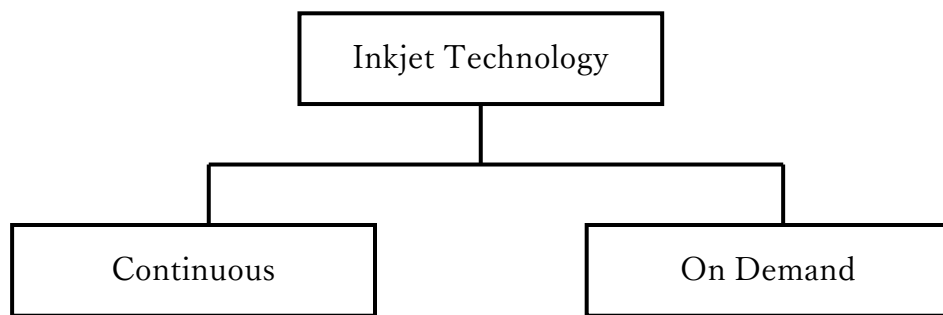
1. Inkjet Printing 技術.....	3	3. Solution Process OLED.....	49
1.1 Printing 技術の分類		3.1 Solution Process 概論	
1.2 Inkjet Printing 技術の分類		3.2 Solution Process 用材料	
1.3 Thermal Inkjet Printer		3.3 Solution Process 用 Inkjet 装置	
1.5 Piezo Inkjet Head		3.4 Solution Process OLED process & device 開発	
1.6 Inkjet Printing の Display への応用		3.5 Solution Process Display 開発	
2. Printed Electronics	40	4. Quantum Dot の Display 応用.....	94
2.1 Printed Electronics とは		4.1 Quantum Dot とは	
2.2 Printed Electronics の応用例		4.2 Display における Quantum Dot の位置づけ	
2.3 Printed Electronics 用材料		4.3 色変換 Quantum Dot	
2.4 Printed Electronics における Inkjet process		4.4 発光型 Quantum Dot	
2.5 Printed Electronics の応用デバイス		5. 更なる技術展開	106
		5.1 Electro Hydrodynamic (EHD) Printing	
		5.2 超高精細 Inkjet : XTPL	
		5.3 Organic Vapor Jet Printing (OVJP)	

1. Inkjet Printing 技術

1.2 Inkjet Printing 技術の分類

Continuous 型

- Non-Contact Printing で代表的な Inkjet Printing は Continuous 型と On Demand 型に大別される。
- Continuous 型は下図のようにインクは常にヘッドから吐出されており、印刷するタイミングで偏向電極に信号が印加されてインクは印刷面に向かって吐出される。それ以外のタイミングではインクはガターと呼ばれるインク回収口に向かって吐出されインクタンクに回収される。
- Continuous 型の良い点は、インクが常時吐出されているので速乾性のインクでもノズルでの詰まりによる欠陥が出ないことまた高い圧力でインクを押し出せるので粘度の高いインクも使えることである。しかし、Multi nozzle 化が難しいことと装置が大型化するという面があるので、この方式は工業用のマーカーなどに使われている程度である。



Ref. Wikipedia

1. Inkjet Printing 技術

1.4 Piezo Inkjet Printer

■ Piezo Inkjet Printer の Ink 吐出制御

Ink 吐出量の均一化

- Piezo 方式 Inkjet head では nozzle 毎に吐出量が微妙にバラついている。これを補正する方式として次のようなものがある。

1) DPN (Drive Per Nozzle)

各 Nozzle を個別に駆動し、吐出量が一定になるような駆動波形を各 Nozzle に印加する。(図1) この方式は Konica Minolta のヘッドなどに広く採用されている。

2) Nozzle Mixing

一つの画素に N 滴の吐出が必要な場合、一つの Nozzle から N 滴を吐出するのではなく、N 個の Nozzle から 1 滴ずつ吐出する。(図2) この方式は Kateeva の装置に導入されている。

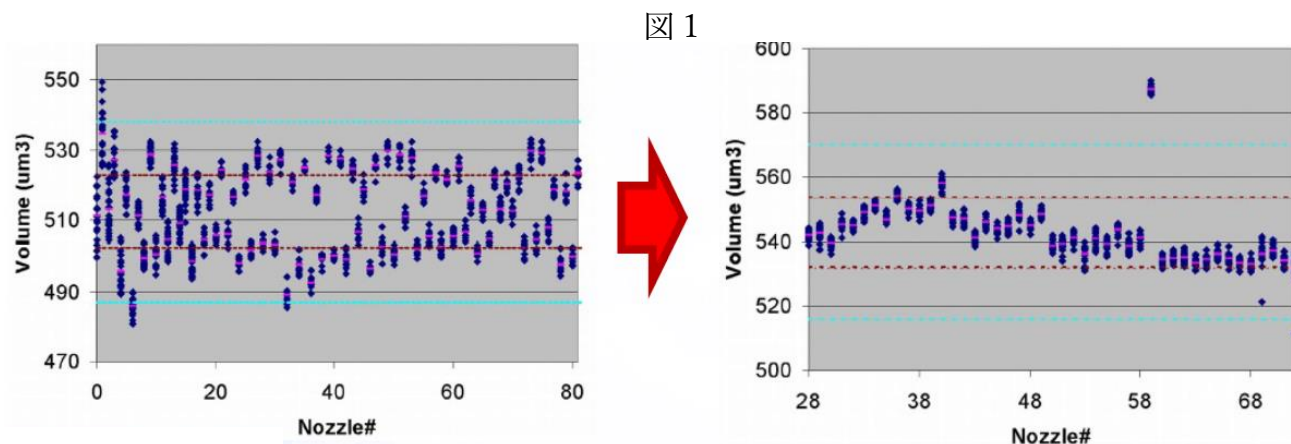
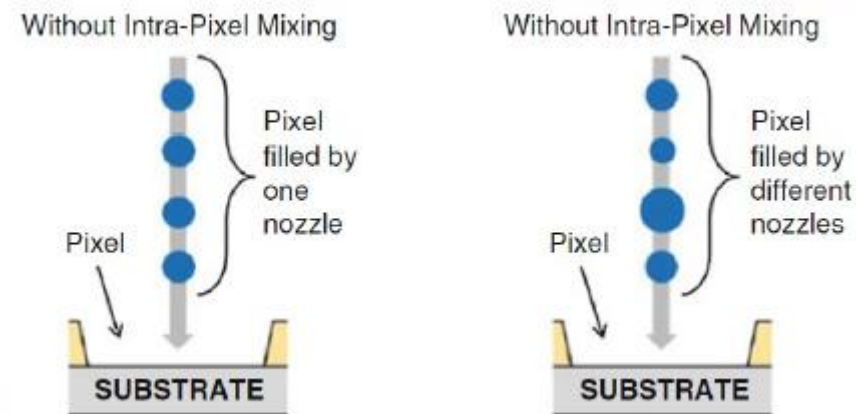


図2

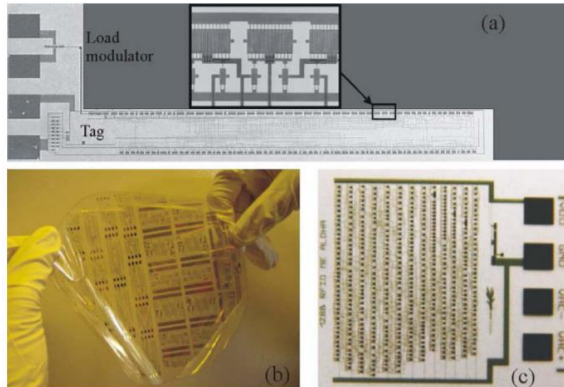


2. Printed Electronics

2.2 Printed Electronics の応用例

- Printing process をベースとする Flexible Electronics は2010年頃に開発の全盛期を迎え、下記のような RF ID Tag 用回路、フィルム型メモリ、フィルム型光センサなど、様々な回路・デバイスが開発されたが、その後全てを Printing で作製するのではなく、信号処理などは Si IC を使い Printing の方が適している部分のみを Printing で作製する FHE (Flexible Hybrid Electronics) が主流となっていった。

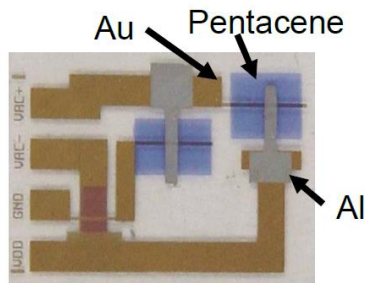
128 bit Organic RFID Transponder chip



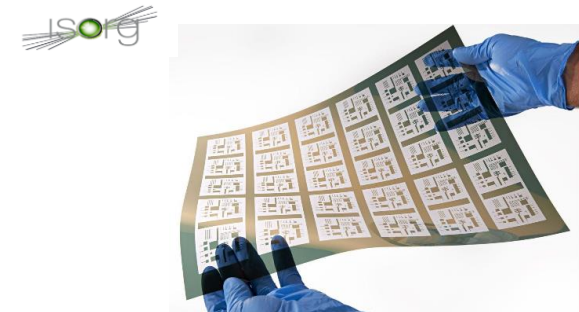
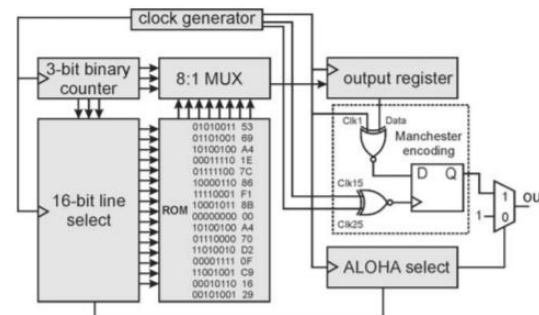
13.56MHz RFID tag



強誘電ポリマーを用いたPlastic memory



Holst Center, ISSCC 2009



有機 Photo sensor

2. Printed Electronics

2.5 Printed Electronics の応用デバイス

■ TFT

- JAPER (Japan Advanced Printed Electronics Research Association) は 2015年に Inkjet Printing をプロセスの一部に採用し全印刷プロセスで作製した TFT array を開発した。*
- TFT の構造は図 1 に示す Bottom Gate / Bottom contact 構造で、有機半導体層を Inkjet で成膜している。Gate 及び Source Drain 電極は Offset Printing で、Gate Insulator は Slit Die Coating で形成した。形成した TFT Array を図 2 に示す。基板のフィルムは 30μ 厚の 300 x 400mm で、密度は 85 ppi である。
- TFT 特性を図 3 に示す。平均移動度は $0.3\text{ cm}^2/\text{V}\cdot\text{s}$ 、平均 On 電流は $5\mu\text{ A}$ 、面内バラツキは $\sigma < 10\%$ であった。

図 1

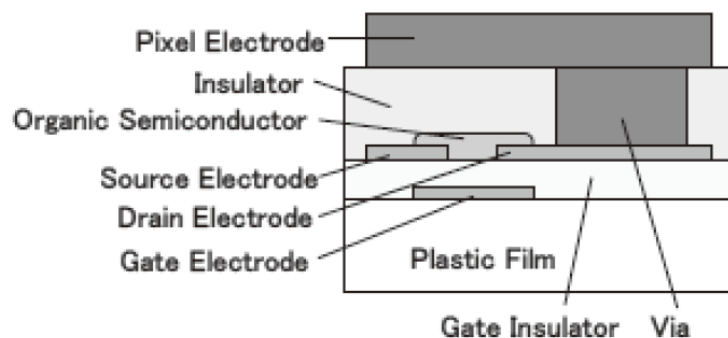


図 2

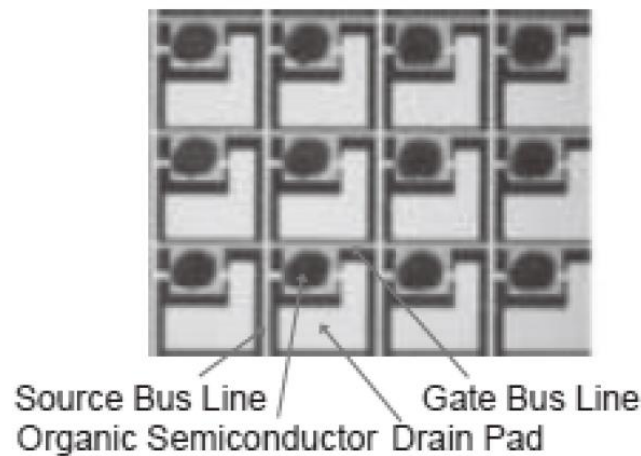
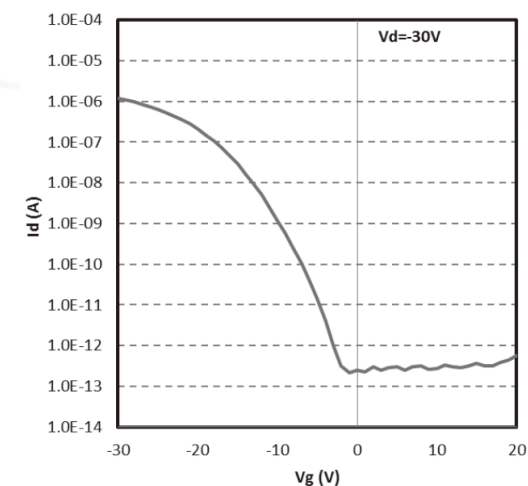


図 3



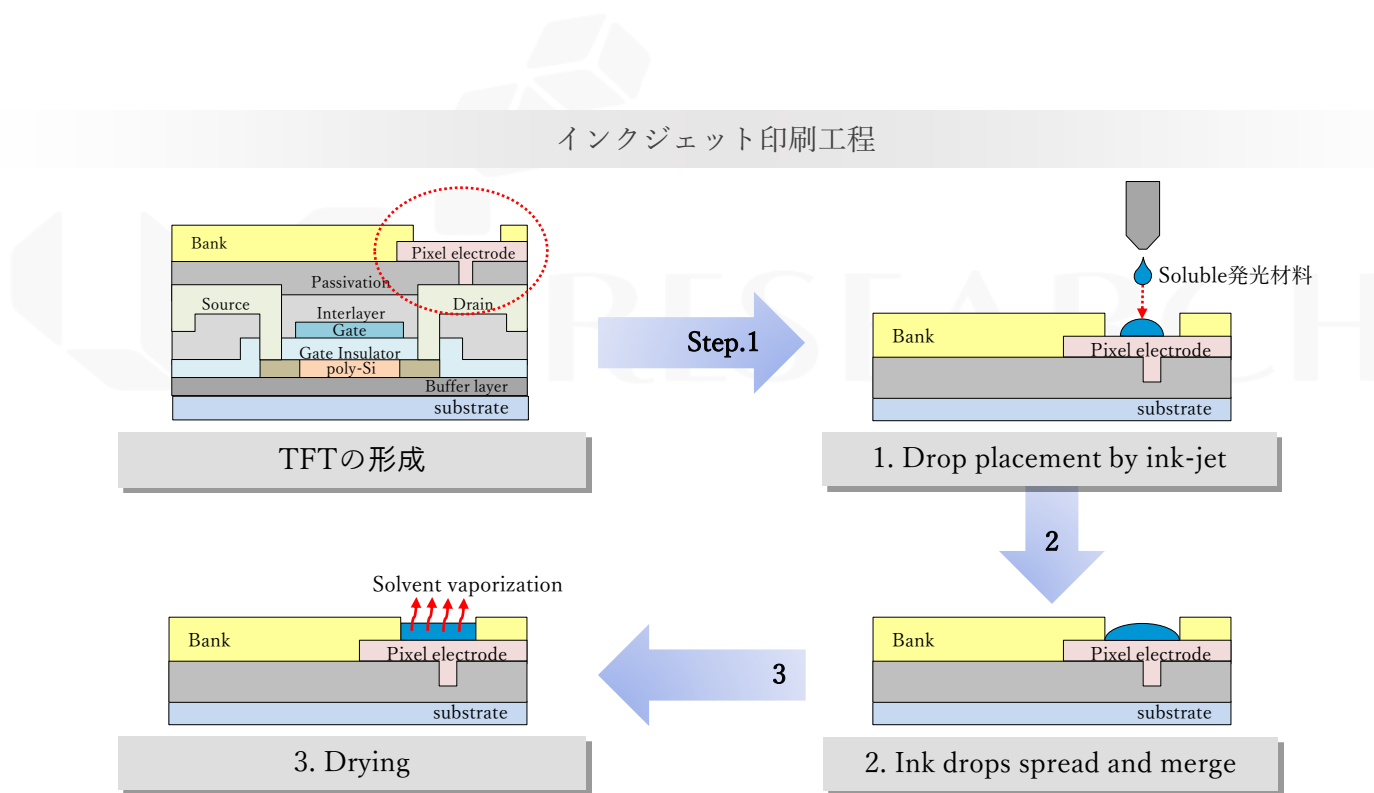
* 西眞一 日本写真学会誌 2015年 78巻 2号 66-69

3. Solution Process OLED

3.1 Solution process OLED 概論

■ Solution process OLED の定義

- Solution process による Active matrix OLED のプロセスフローを下図に示す。画素電極までの TFT 工程を終了した後に PDL (Pixel Defining Layer) によって Bank を形成し、その Bank 内に Inkjet によって発光材料を印刷する。その後乾燥して発光層が形成される。なお有機 EL 素子はキャリア注入層・輸送層や発光層など複数の有機層が積層した構造なので、Inkjet&乾燥のプロセスは複数回行われる。



Source: UBI Research DB

3. Solution Process OLED

3.4 Solution process OLED Device & Process 開発

■ Interlayer mixing

- Interlayer mixing が起こる界面の位置とキャリアの再結合領域の位置との関係を Kyung Hee Univ. が調査し、IDW2020 で報告した。*
- 共通の HTL, HBL, ETL, EIL を持ち、EML のホストだけを電子輸送性の TPBi としたデバイス A と、正孔輸送性の APPG087 としたデバイス B を作製した。ここで、HTL と EML は Solution Process で形成し、HBL, ETL, Cathode は真空蒸着で形成したので Interlayer mixing は図 1 のように HTL と EML の界面で起こることになる。
- これら二つのデバイスの EQE を比較したのが図 2 である。デバイス A がデバイス B に比べて高い EQE を示している。これは図 1 に示すようにホストの違いによって電子と正孔の再結合領域の位置がシフトし、デバイス B の場合は再結合領域が丁度 Interlayer mixing の位置になってしまったために特性低下が起こると考えられる。即ち interfacial mixing が起こっても再結合領域の位置を適切に設計することによって特性劣化は防げることを示している。

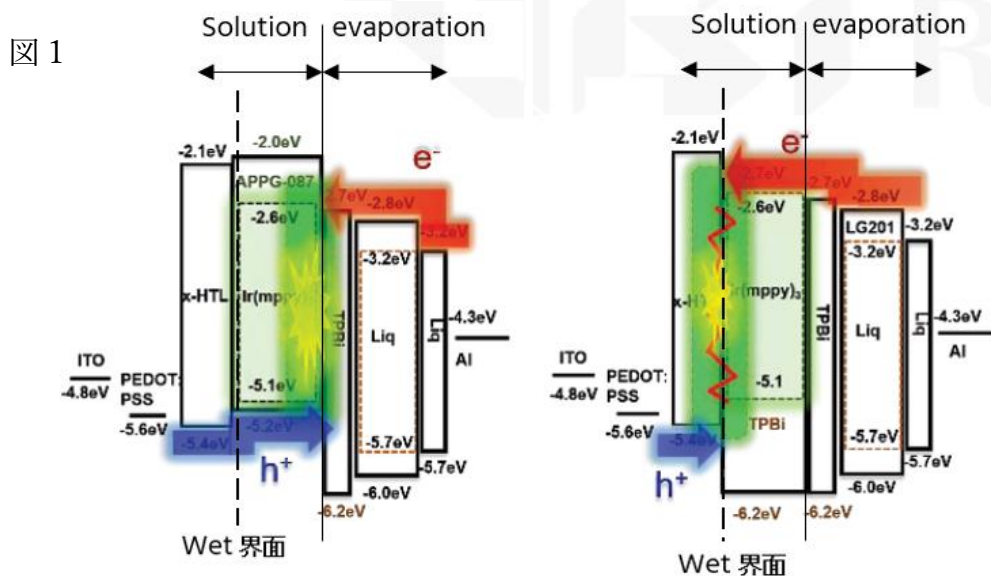
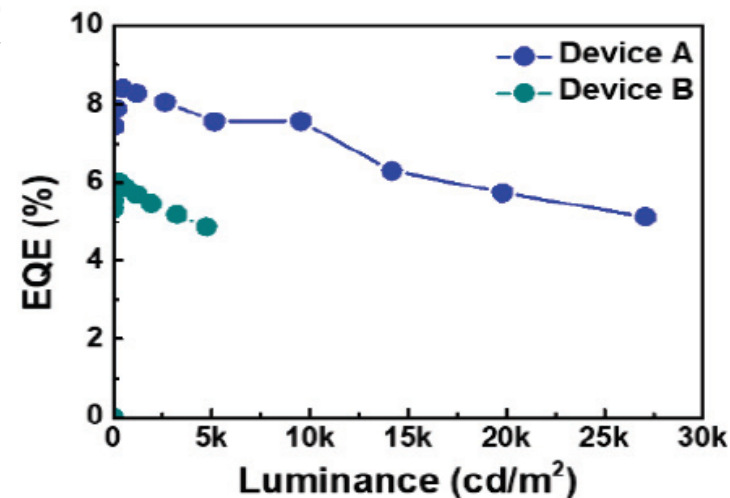


図 2



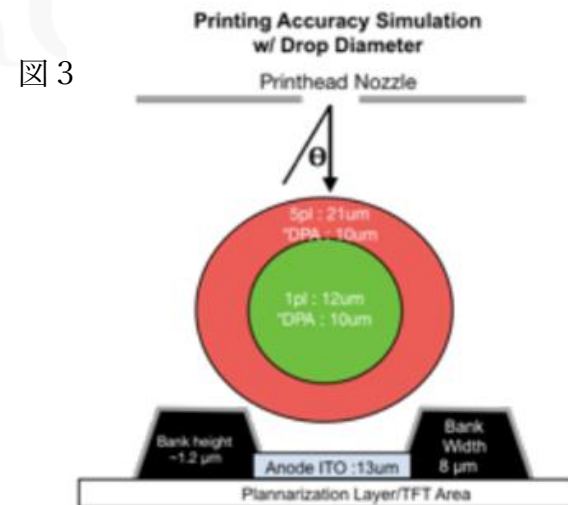
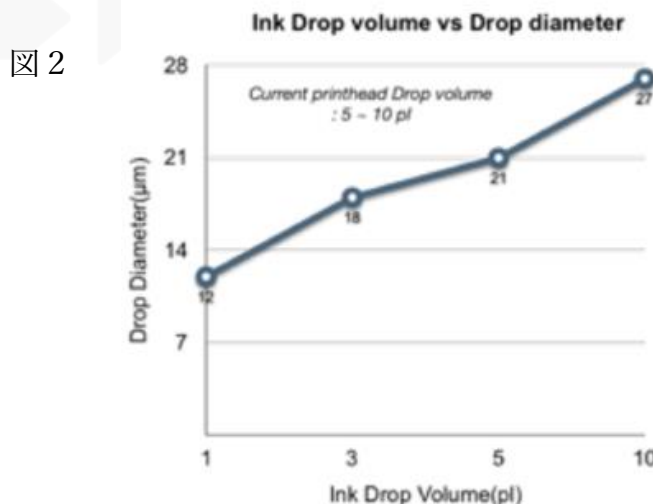
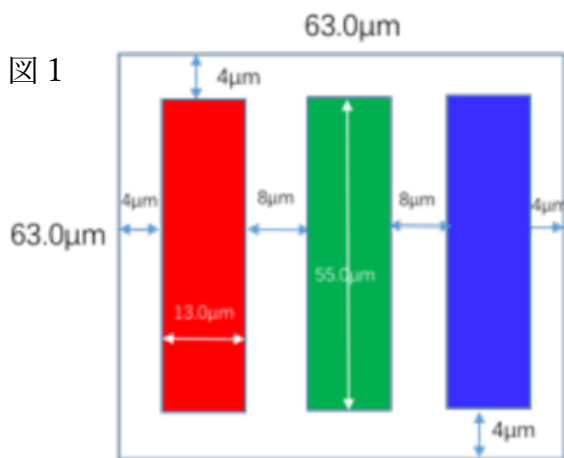
* The Na Le et. al. IDW2020 Digest OLED 1-4 p.371

3. Solution Process OLED

3.4 Solution process OLED Device & Process 開発

■ 解像度

- Inkjet プロセスで製造した Solution Process OLED で現在最も高解像度の製品は JOLED の 204 ppi である。それではこれを 403 ppi としたらどうなるかの検討を Juhua が SID2020 で報告した。
- 403 ppi のときの RGB Stripe 配列の場合の画素寸法は図 1 のようになる。即ち各 sub-pixel の短軸幅は $13\mu\text{m}$ である。一方、液滴の容量と直径の関係は図 2 のようになっているので、例えば液滴が 1 pL の場合の液滴径は $12\mu\text{m}$ である。従ってこの液滴を sub-pixel の短軸方向断面に重ね合わせると図 3 のようになる。この液滴の着弾精度が $\pm 10\mu\text{m}$ とすると液滴を正確に sub-pixel 内に吐出するのは不可能ということになる。
- Juhua はこの問題を解決するために画素パターンを新規に設計し、液滴量：5~8pl、バンク幅： $15\mu\text{m}$ 、着弾精度： $\pm 15\mu\text{m}$ という印刷条件で 4.92 型 403 ppi の高精細パネルの試作に成功したが、どのような画素パターンかは公表していない。



4. Quantum Dot の Display 応用

4.3 色変換 Quantum Dot

■ Inkjet 用 QD Ink

- 色変換用 QD を Inkjet 印刷するためのインクを DIC と Nanosys が共同開発し IDW2017 で報告している。
- 想定デバイスとしては Blue の Backlight 光源を持ち、CF の代わりに QD を持つ LCD である。これによって Backlight の光利用効率を上げて低消費電力化する。しかし、この方式は QD OLED や Micro LED にそのまま適用できる技術である。
- QD は十分な色変換特性を持たせるために高濃度（15～50%）とし、散乱で色変換を更に促進させるために TiO₂ を 5～20% 混合している。塗布後の硬化は熱硬化と UV 硬化の両方をテストした。Inkjet Head は Dimatis のものを使用。
- 図 1 のような Black Matrix Bank（高さ $2\mu\text{m}$ ）の中に Inkjet で Green と Red の QD を印刷し、Blue sub pixel は空洞とした。解像度は 42 ppi である。Green と Red の QD を印刷・硬化後に全面に半透明の Yellow の膜を形成して QD 層を透過する Blue 光をカットした。
- この QD plate を Blue Backlight に重ねたのが図 2，図 3 である。

図 1

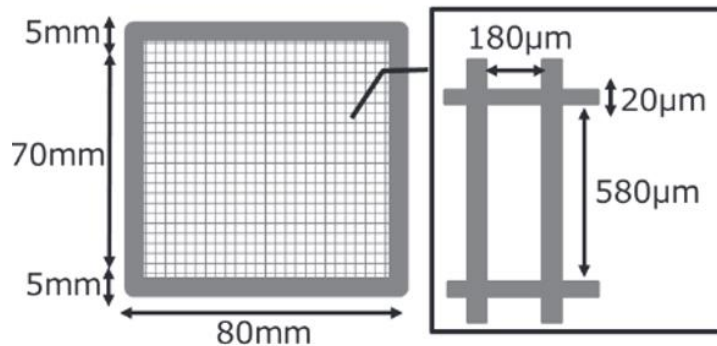
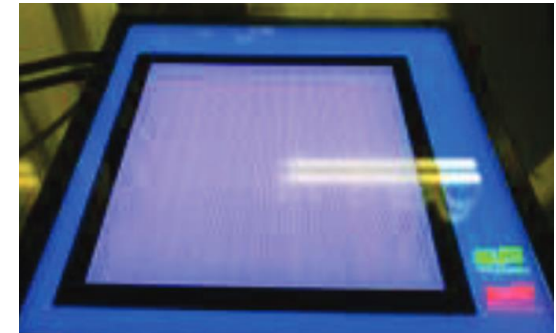


図 2



図 3



Ref. Ravi Tangirala et. al. IDW 2017 Digest MEET 4-2 p.1330