

有機デバイス開発の現状と課題

八瀬清志

独立行政法人 産業技術総合研究所

SPring-8利用推進協議会 産業利用研究会
次世代有機エレクトロニクスと放射光利用研究会
2012/10/4(木)@東京

1

独立行政法人 産業技術総合研究所



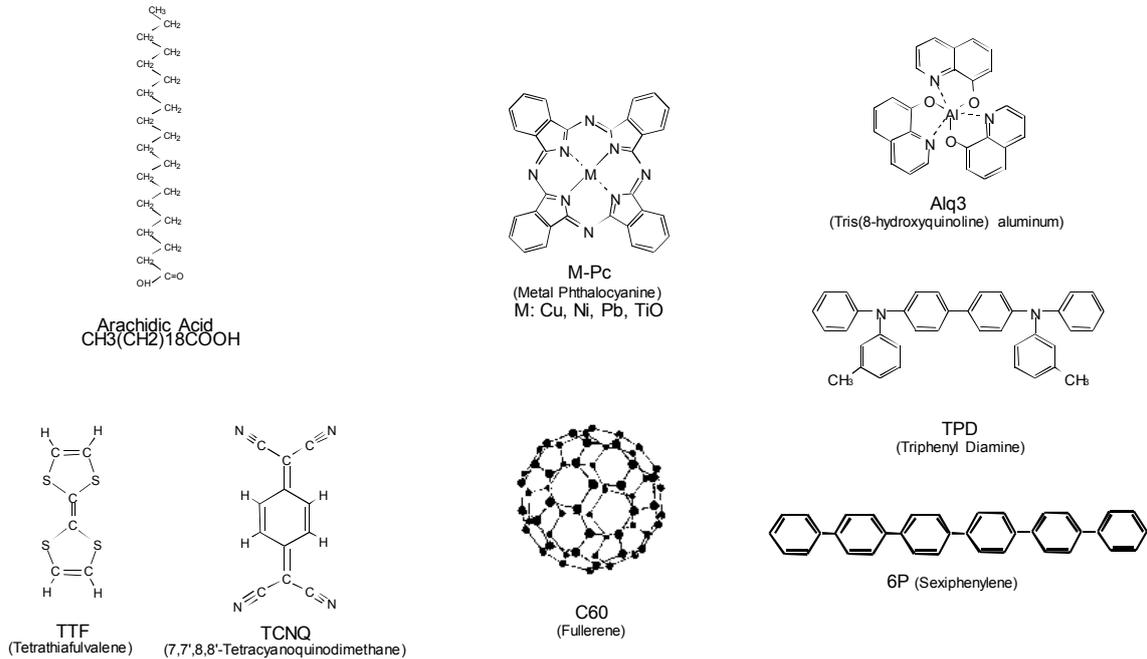
目次

はじめに: 有機薄膜デバイス

有機薄膜作製技術

- ・ ウェットプロセス
インクジェット
マイクロコンタクトプリント
- ・ ドライプロセス
エピタキシャル成長
配向成長と高品位薄膜化への試み

機能性有機分子の構造

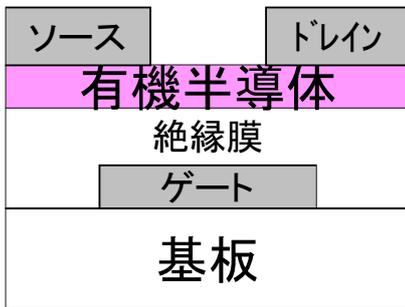


半導体の比較

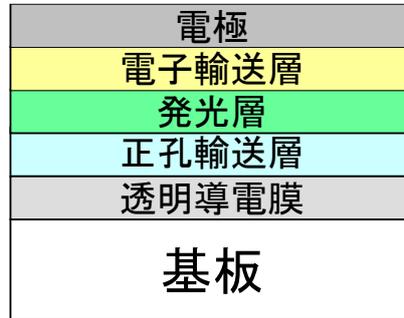
	シリコン	化合物半導体	有機半導体
受光	○	○	○
発光	△	◎	◎
移動度(高速性)	○	◎	△
高出力	○	◎	X
耐熱性・耐久性	◎	△	△
柔軟性・耐衝撃性	△	X	◎
三次元集積	◎	○	○
加工性	○	X	◎
大面積	○	X	◎
製造エネルギー	X	X	◎
用途	既に安定して確立されている半導体であるため、マイコン、一般ロジックなど通常の汎用情報処理素子一般に用いられる。	高速、高出力、発光などを特徴とするため、主として通信関連に適応される。	発光、受光、柔軟性、耐衝撃性、加工性等を特徴とすることから、主としてヒューマンインターフェースデバイスとしての情報端末に適応される。

有機薄膜デバイスの基本構造

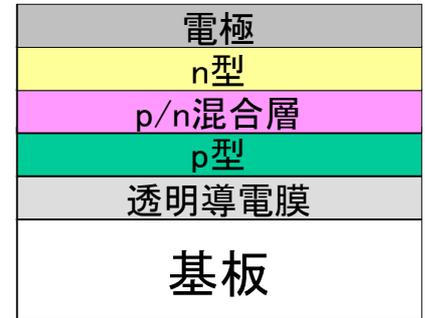
a) 有機TFT



b) 有機EL



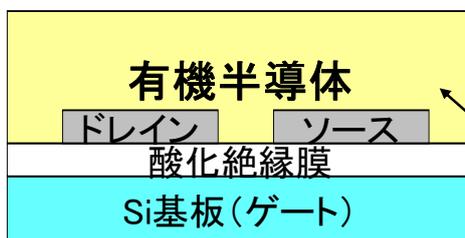
c) 有機薄膜太陽電池



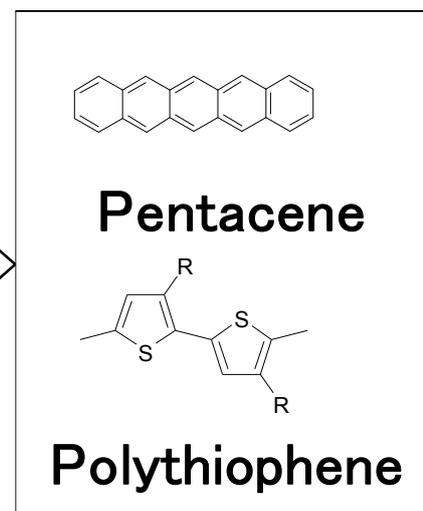
- ・固体基板上への積層: 順序と膜厚
- ・極薄膜への電荷注入/取り出し
- ・アクティブ(活性)層の構造は非晶質

有機電界効果トランジスタの構造

a) ボトムコンタクト (BC) FET



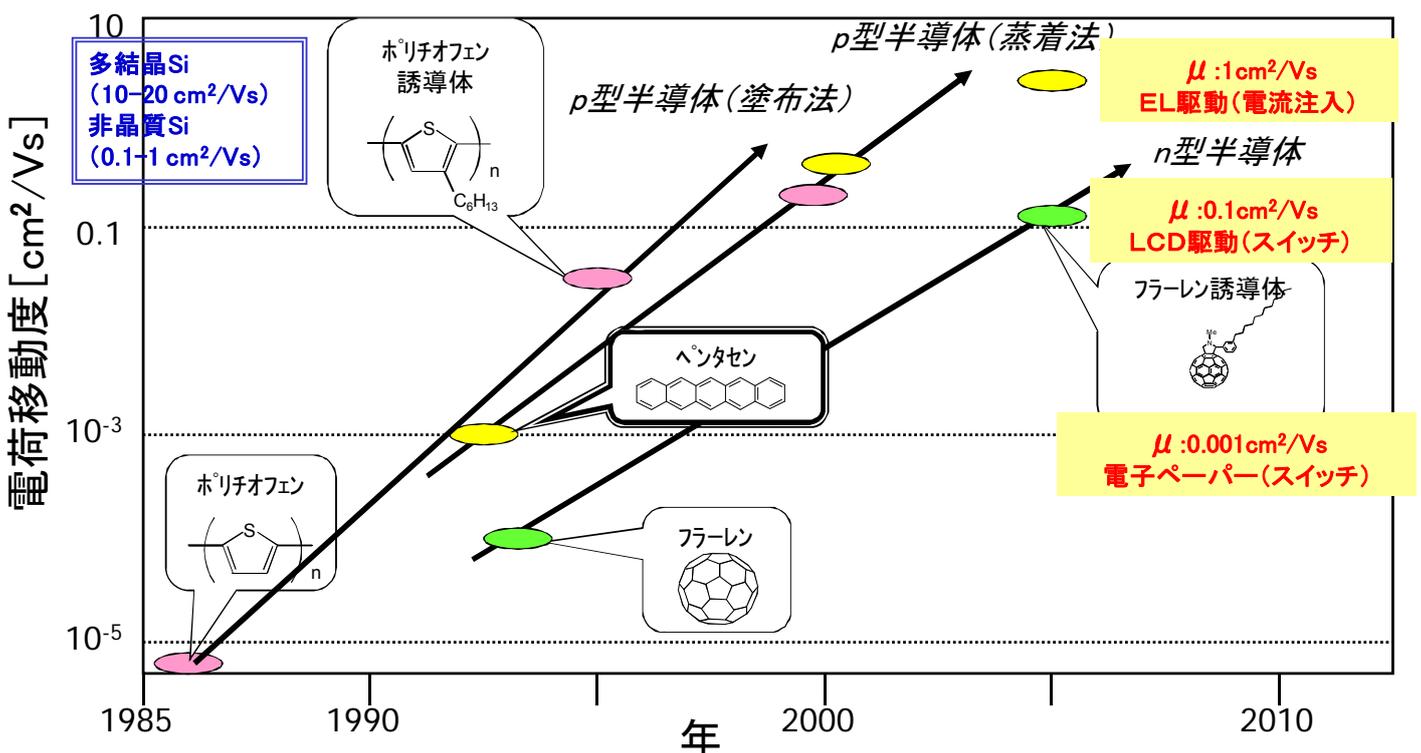
b) トップコンタクト (TC) FET



有機半導体の研究推移

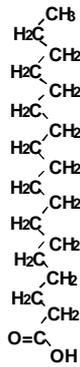
- 1950年 有機半導体の発見(井口、赤松、松永)
- 1973年 電荷移動型錯体(TTF-TCNQ,BEDT-TTF,etc)
- 1976年 導電性高分子(ポリアセチレン)(Heeger, MacDiarmid, 白川)
- <有機金属、有機超伝導>
- 1983年 ポリマーFET(ポリアセチレン)(NTT: Ebisawa et al.)
- 1984年 有機FET(メロシアン)(東工大: Kudo et al.)
- 1985年 フラーレン発見(Kroto, Smalley, Curl)
- 1986年 ポリマーFET(ポリチオフェン)(三菱電機: Tsumura et al.)
- <有機半導体>
- 1992年 ペンタセン蒸着膜FET(仏、米、日)
- 1995年 アルキル置換ポリチオフェン(米、カナダ、英)
- 2001年 H.Shoen(Lucent)のデータ捏造事件
- <蒸着膜vs.塗布膜>
- 2006年 有機単結晶(ルブレン)
- 2012年 ダブルショットインクジェット法による単結晶(産総研)

有機半導体の電気特性の変遷

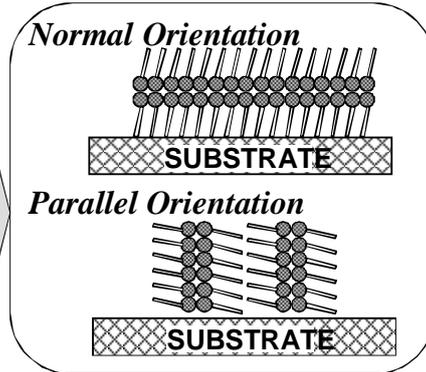
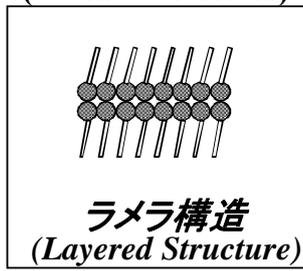


分子の基板表面で取りうる配向

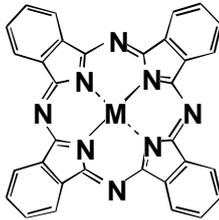
Octadecanoic Acid
(Stearic Acid)



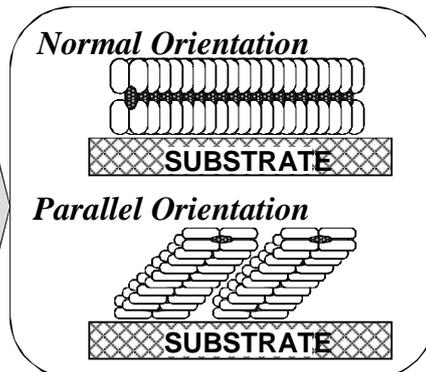
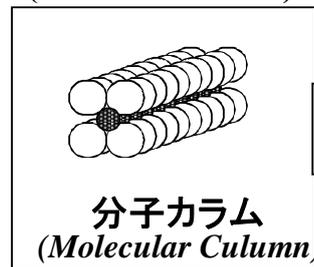
直線分子
(Linear Molecules)



M-Pc
(Metal Phthalocyanine)
M: Cu, Ni, Pb, TiO

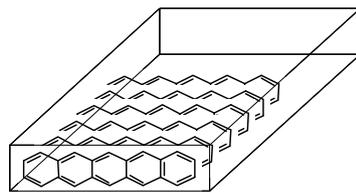


平面分子
(Planar Molecules)

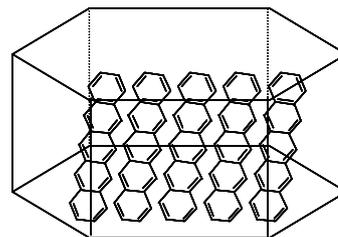


分子形状と凝集構造

a) 直線分子 (Linear Molecules)

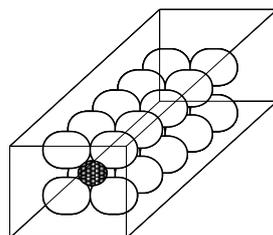


基板に平行

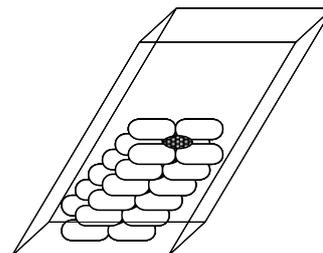


基板に垂直(斜立)

b) 平面分子 (Planar Molecules)



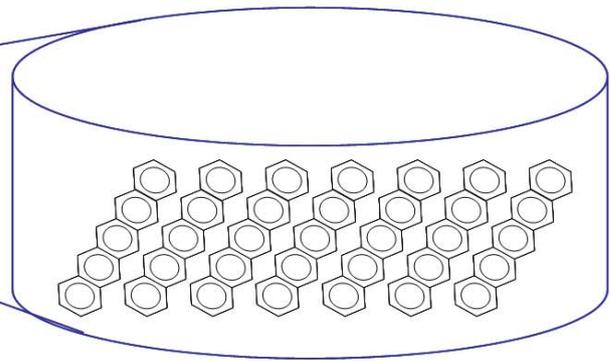
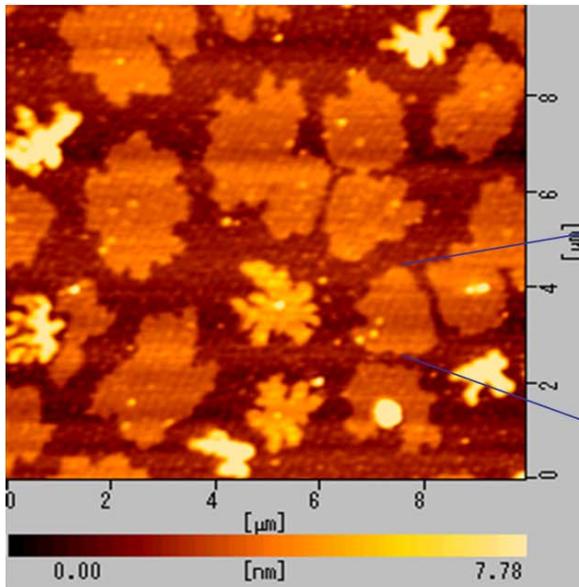
基板に垂直(斜立)
<分子カラムは平行>



基板に平行
<分子カラムは垂直(斜立)>

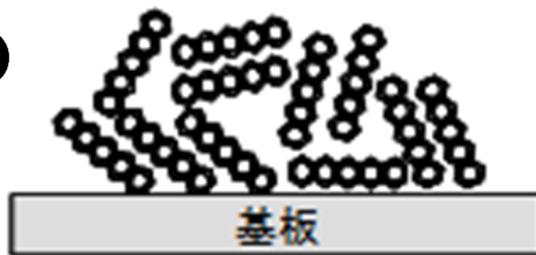
非晶質基板上的ペンタセン分子の配向

- ・ペンタセン分子は、斜立
- ・個々の成長丘内では単結晶
- ・成長丘同士の方角関係はランダム
→多結晶薄膜

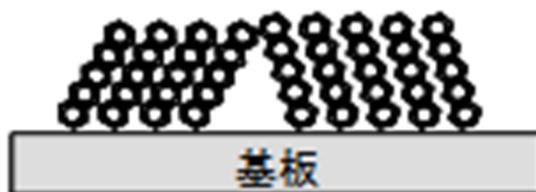


ペンタセン蒸着膜の可能な凝集形態

a) 非晶質



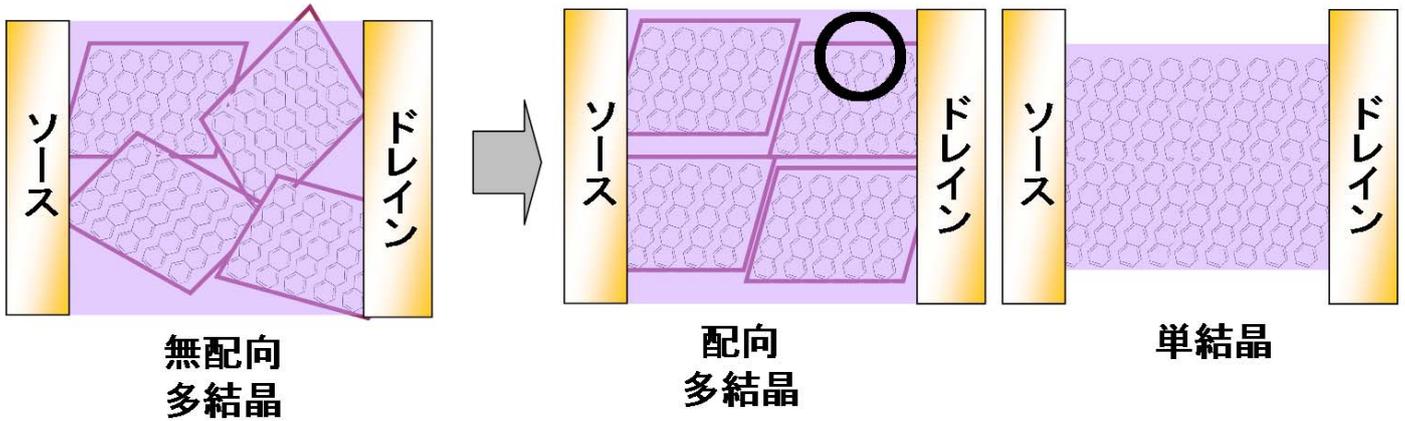
b) 多結晶



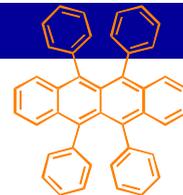
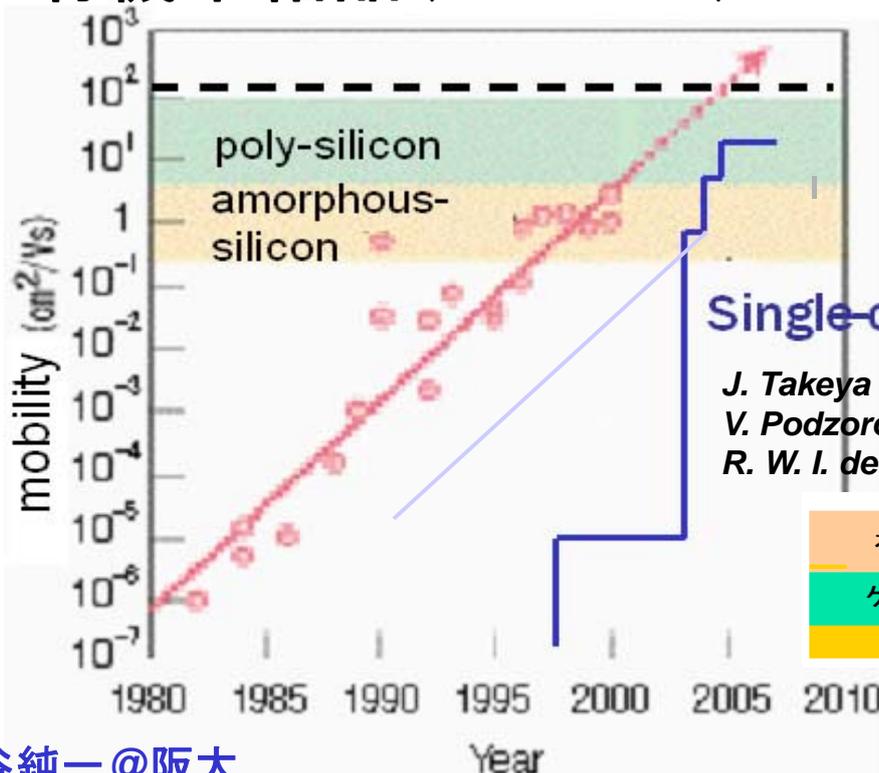
c) 単結晶(単一粒界)



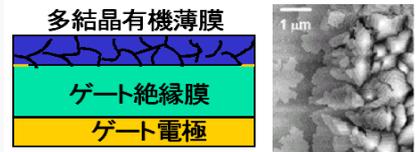
キャリアの流れ



有機単結晶(ルブレン)

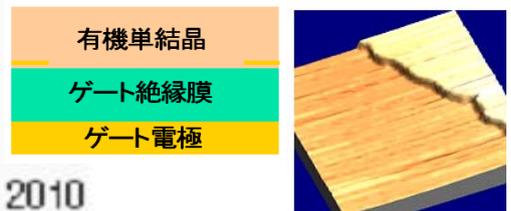


多結晶薄膜FET

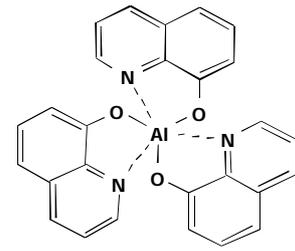
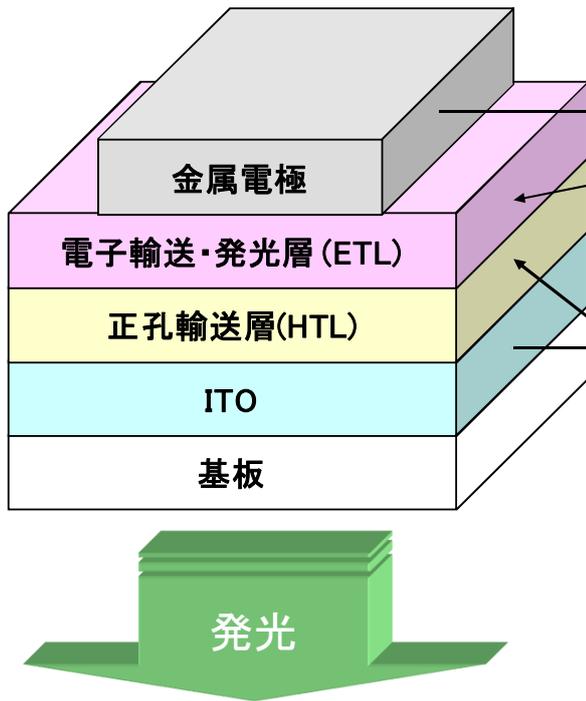


Single-crystal FETs

J. Takeya et al. (Japan)
 V. Podzorov et al. (U.S.)
 R. W. I. de Boer et al. (Netherlands)

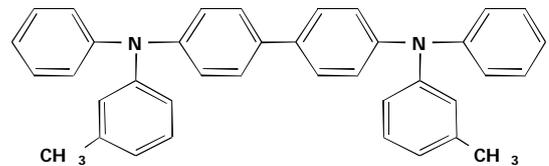


有機EL素子の構造



Alq3

(Tris(8-hydroxyquinoline) aluminum)



TPD

(Triphenyl Diamine)

有機EL製品の開発経緯

1986年 機能分離型有機ELの基本特許 (Eastman Kodak)

1990年 高分子ELの基本特許 (ケンブリッジ大、UCLA)

1997年 エリアカラー有機ELパネル (東北パイオニア)

<展示会での出展(試作品)>

2001年 携帯電話の表示パネル (RiT, NEC, 三洋)

2002年 MP3プレイヤー (Delta)

デジタルカメラ (Kodak EasyShare LS633) (三洋)

<展示会での出展ラッシュ(大画面化:アクティブマトリクス)>

2003年 20インチディスプレイ (ChiMei)

2004年 40インチ (インクジェット) (セイコエプソン)

2005年 40インチ (Samsung)

<有機ELパネルの市場展開> <フレキシブル化>

2007年 2.2インチ (Samsung)

27インチ (プロトタイプ) → 11インチテレビ (ソニー)

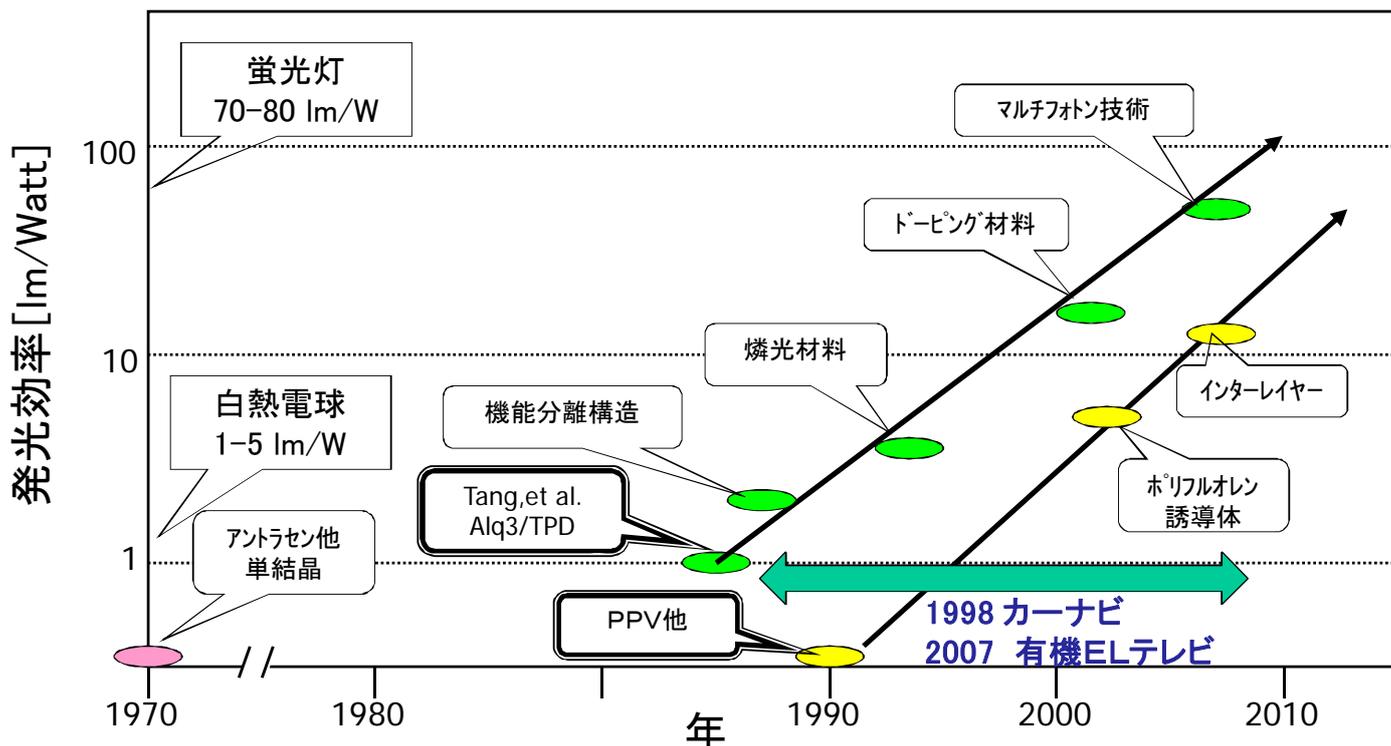
2008年 31インチ (Samsung)

10年で製品化
(パッシブ駆動)

10年で製品化
(アクティブ駆動)

非晶質Si-TFT

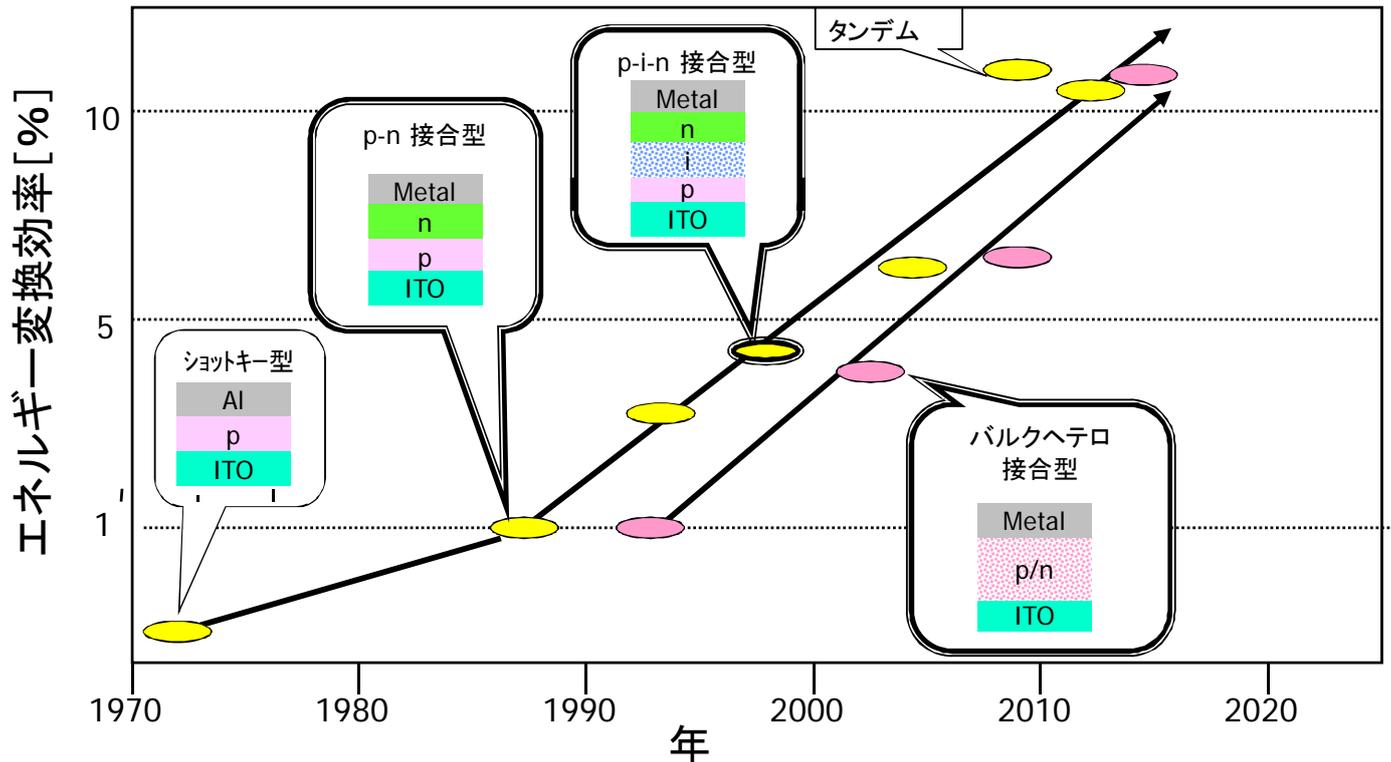
有機ELの効率



有機太陽電池の研究開発の経緯

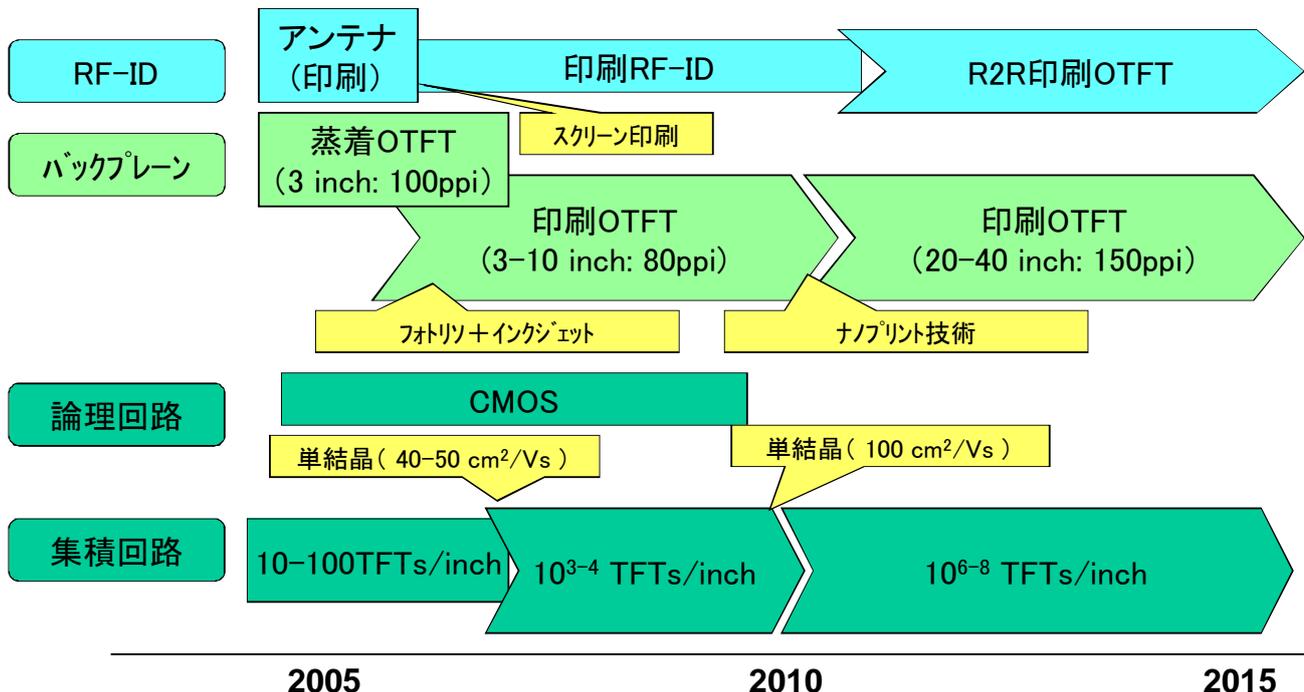
- 1970年代 ショットキー型(クロロフィル等) < 0.1%
- 1976年 多孔性ZnO色素増感(阪大:松村) ~ 2.5%
- 1986年 pn接合型(イーストマン・コダック: C.W.Tang) = 1%
- 1991年 多孔性TiO2色素増感太陽電池
(スイス連邦エコール工科大(EPFL): M.Graetzel) ~ 7%
- 2001年 クマリン色素(色素増感)(産総研:原、荒川) = 5.6%
- 2002年 バルクヘテロ接合型(UCSB:A.Heeger&N.S.Sariciftci) ~ 3%
- <エネルギー変換値の競争(計測手法の標準化)>
- 2006年 フレキシブル色素増感(桐蔭横浜大:宮坂) ~ 7%
- 2007年 p-i-n接合型(阪大、産総研) ~ 3.6%
タンデム型(p-i-n)(プリンストン大:Forrest) ~ 7%
- 2008年 タンデム型(色素増感)(産総研) ~ 11%
- 2011年 有機薄膜太陽電池(東レ、三菱化学) ~ 11-12%
- <有機太陽電池開発の第2フェーズ:実用化を目指した開発>

有機薄膜太陽電池



有機半導体のロードマップ

移動度	蒸着膜	1 cm ² /Vs	5 cm ² /Vs	10 cm ² /Vs
	塗布膜	0.1 cm ² /Vs	0.5 cm ² /Vs	1 cm ² /Vs



有機ELのロードマップ

発光効率

低分子系
高分子系

60lm/W

10lm/W

80lm/W

40lm/W

95lm/W

60lm/W

照明

10inch
(蒸着)

プロセス革新
(蒸着→印刷)

20inch
(印刷)

大面積化
高演色化

100inch
(印刷)

RB補色混合

RGB補色混合

POP

数inch
(マルチカラー/
単純マトリクス)

ハットプ→
アクティブ駆動
(a-Si→OTFT)

50inch
(アクティブマトリクス)

フレキシブル化

>100 inch

テレビ
ディスプレイ

テレビ

11inch

大画面化
高精細化

40-50inch

低消費電力
超薄膜化

60-100inch

LTPS/ガラス

有機TFT/プラスチック

フレキシブル
ディスプレイ

2-3inch

プロセス革新
(蒸着→印刷)

20 inch

大画面化
高精細化

40-50 inch

フォトリソ+インクジェット

全印刷(IJ、スクリーン)

全印刷(μコンタクト)

2005

2010

2015

有機太陽電池のロードマップ

エネルギー変換効率

色素増感

7-8%

サイズ: 10cm²

フレキシブル化

10%

サイズ: 50cm²

印刷

15%

サイズ: 100cm²

イオン流体

プラスチック基板

脱ITO
(導電性高分子)

薄膜
太陽電池

3-4%

サイズ: 4cm²

フレキシブル化

10%

サイズ: 10cm²

印刷

15%

サイズ: 100cm²

p-i-n接合

バルクヘテロ・
タンデム接合

RGBタンデム

2005

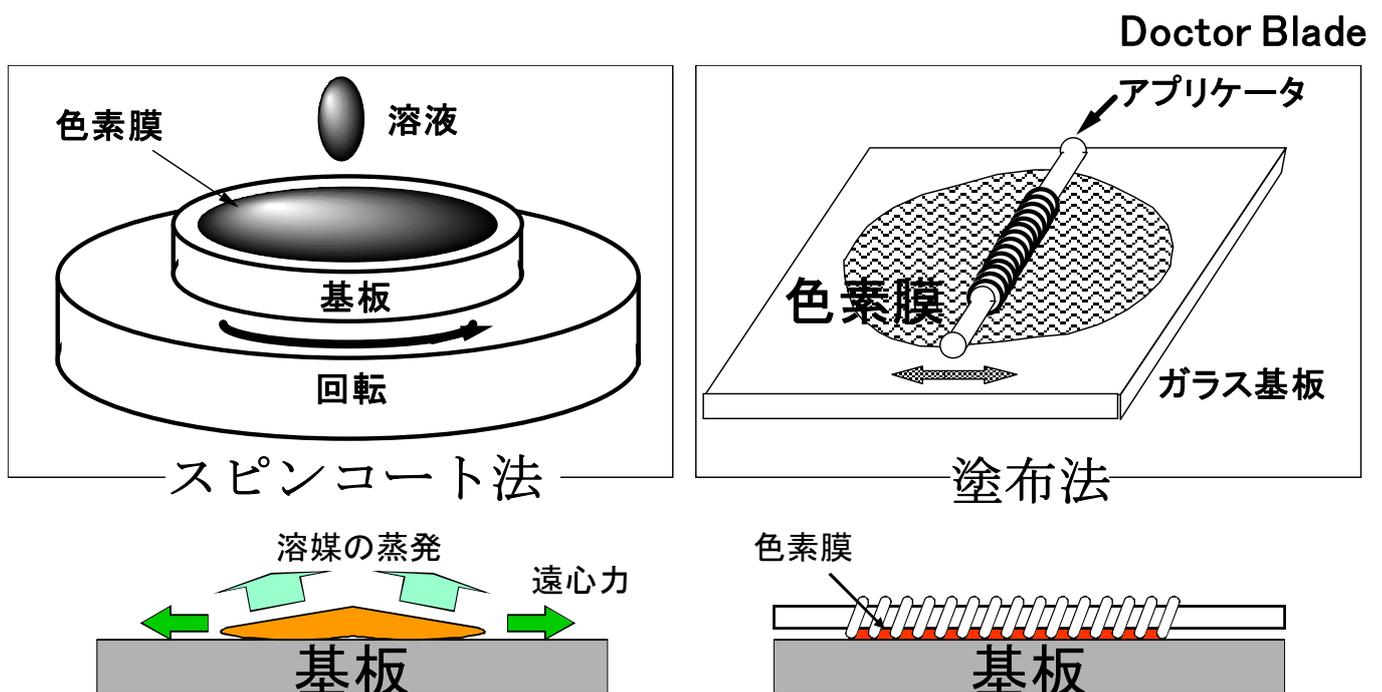
2010

2015

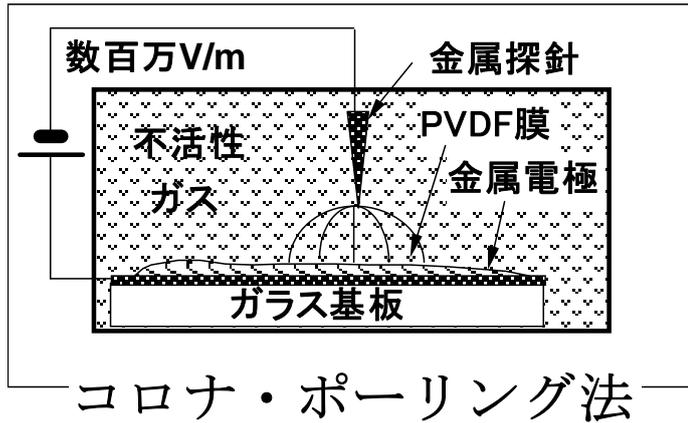
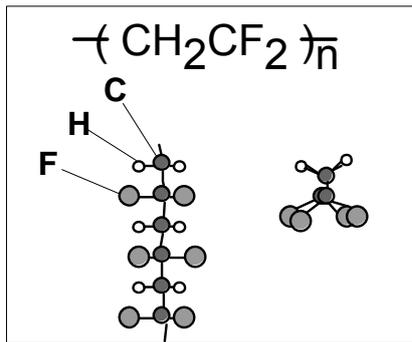
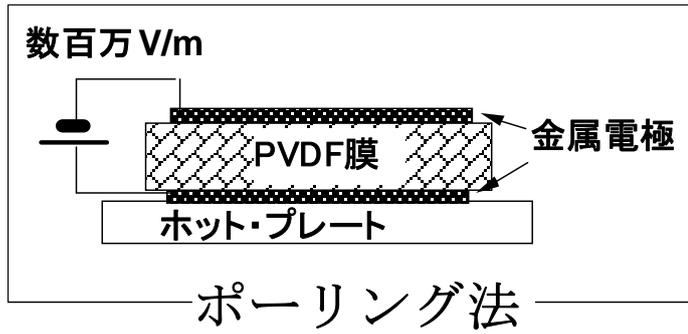
ウェット・プロセス

手法	特徴	適用例
塗布法(スピコート、キャスト法)	成膜分子を有機溶媒に溶解し、基板表面に滴下し、製膜する(操作が容易)	ほとんどの産業用有機・高分子膜
電解重合法	導電性高分子のモノマーを含む電解質溶液中で電極上に電解重合させる	ポリチオフェン、ポリアニリン等、導電性高分子
Langmuir-Blodgett (LB)法	水面上の両親媒性分子の単分子膜を固体表面に単分子層ごとに積層する	脂肪酸等、両親媒性分子
自己組織化膜 (SAM)法	金表面にアルカンチオール等の分子末端にSH基を有する分子を化学(物理)吸着させた単分子膜(パターンングが可能)	アルカンチオール: マイクロ(ナノ)コンタクトプリント
化学吸着法	シランカップリング剤等で表面修飾したガラス基板(表面は、水酸(OH)基)等へ正負のイオン性基(スルホン基(SO ₃ ⁻ 、PO ₄ ⁻ ; NH ₃ ⁺ 等)を有する高分子を交互に吸着させる	クロロシリル/酸化膜へのポリイオンコンプレックス
反応性吸着法	開環重合性モノマー溶液の中にグラファイトを浸析し、高分子単分子膜を形成する: Polymerization Induced Epitaxy (PIE)	ポリエチレンオキシド(PEO)、ポリテトラヒドロフラン(PTHF)、ナイロン6、等
インクジェット法	微小液滴の極細ノズルからの噴出	色素: 有機半導体、導電性高分子、金属超微粒子の薄膜、描画
マイクロコンタクトプリント	シリコーンゴム(PDMS)を版とするnm~μmの凸版印刷	

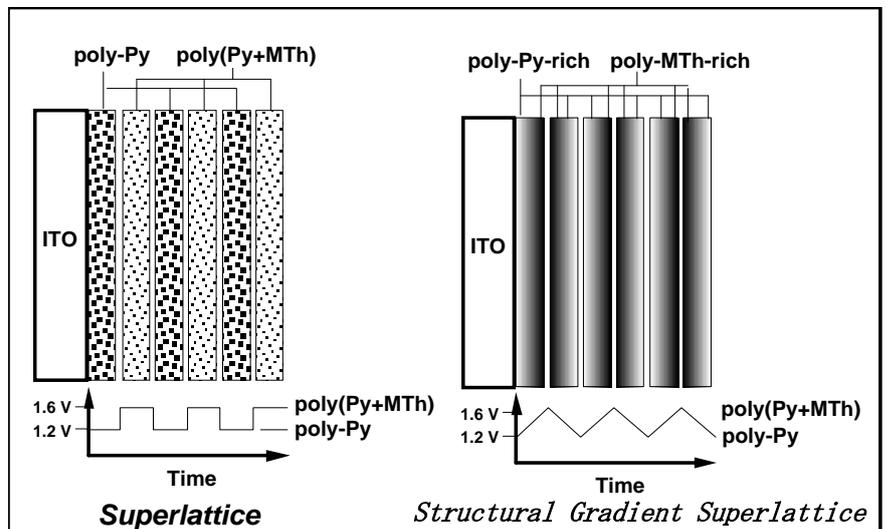
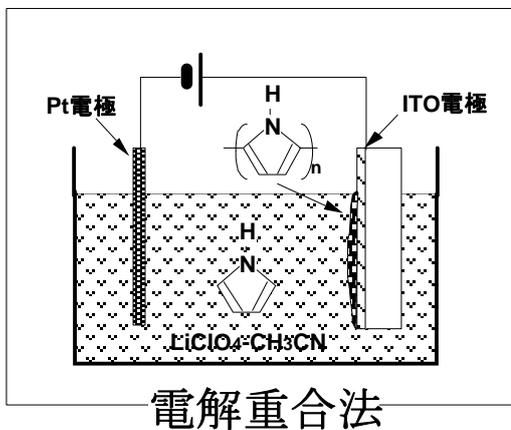
塗布法(スピコート・キャスト)



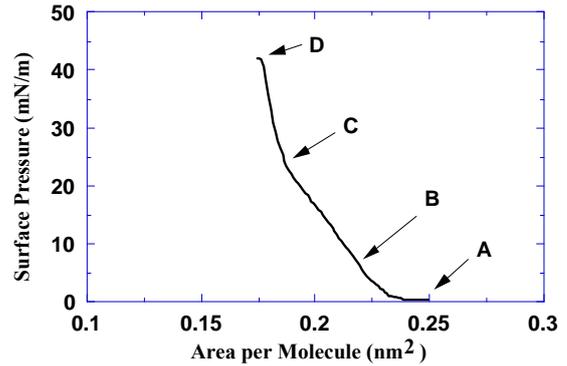
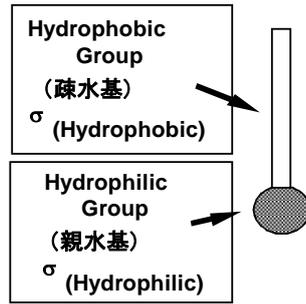
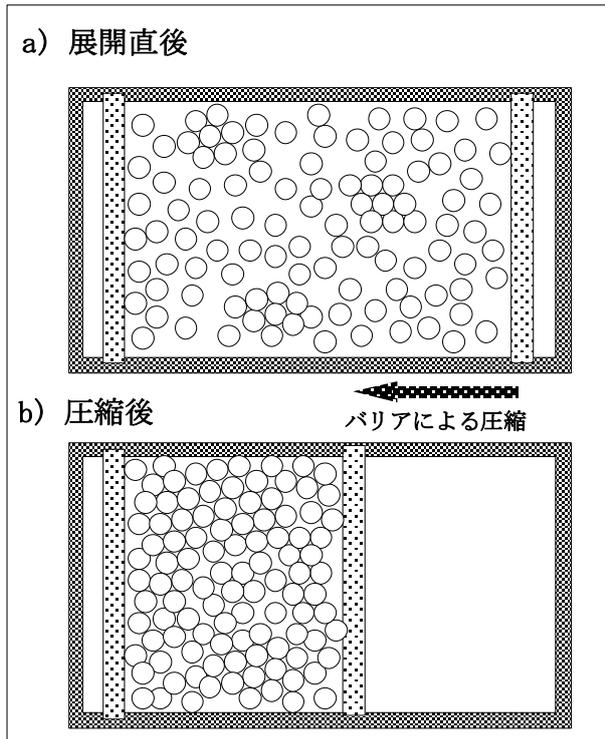
ポーリング法



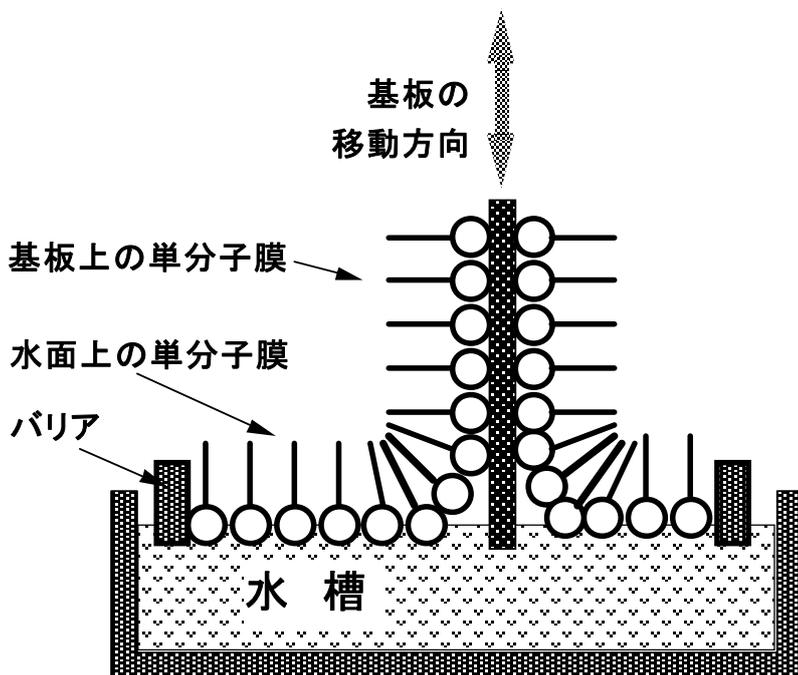
電解重合法



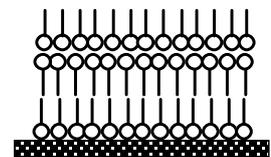
Langmuir-Blodgett法



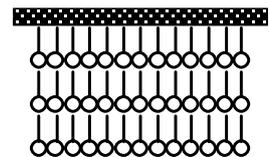
Langmuir-Blodgett法による製膜



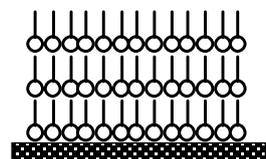
a) Y型膜 (LB法)



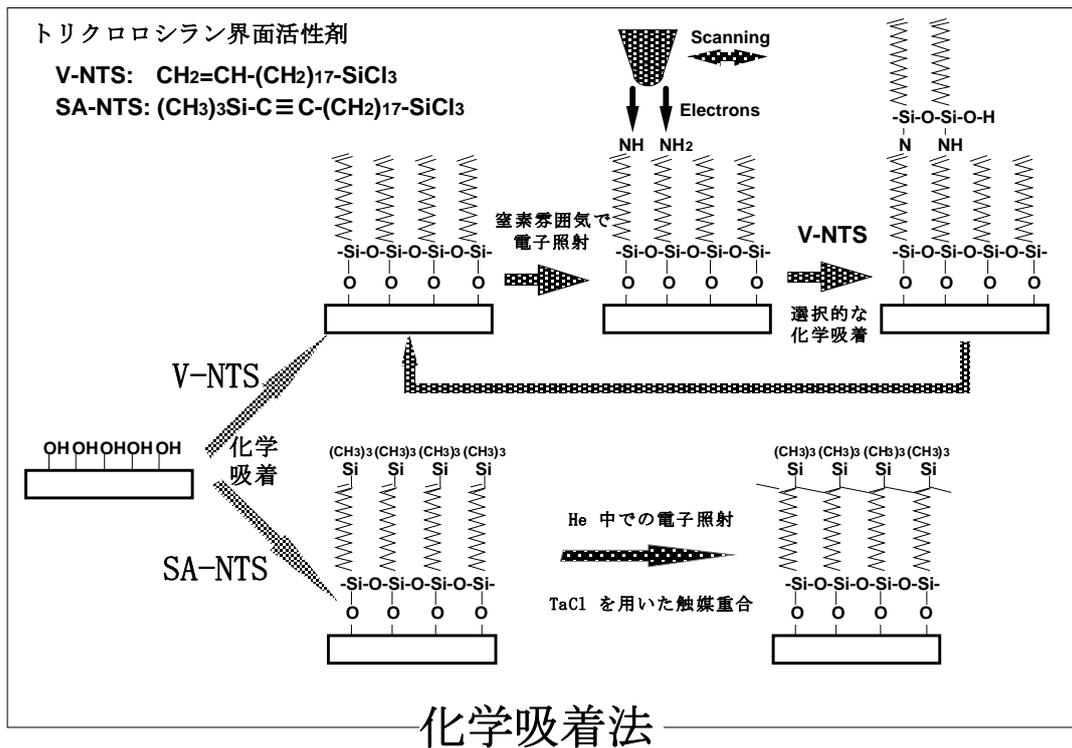
b) Z型膜 (水平付着法)



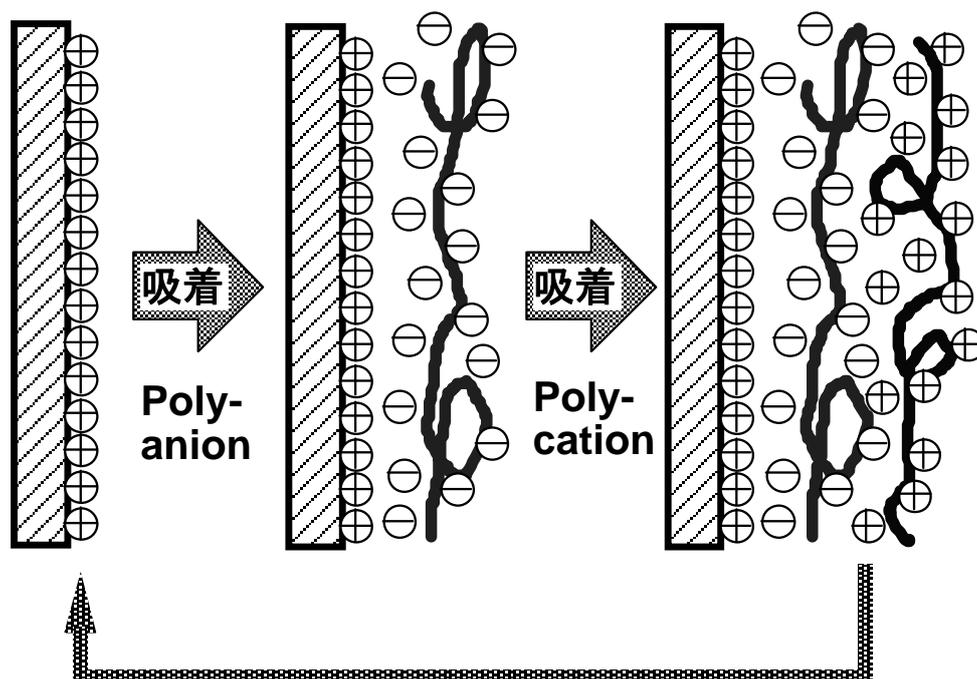
c) X型膜 (水面降下法)



化学吸着法

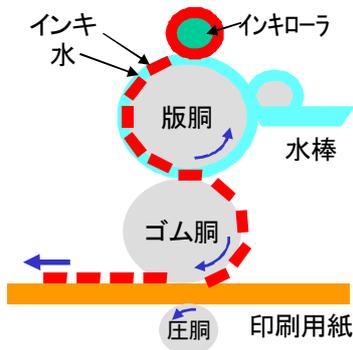


交互吸着法

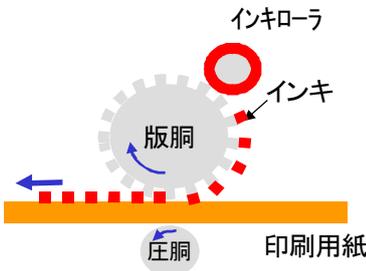


各種印刷法

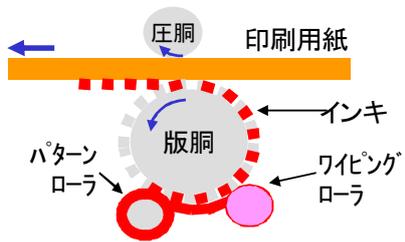
a) オフセット印刷



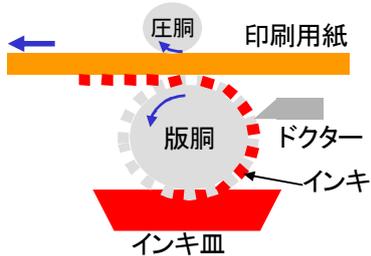
b) 凸版印刷



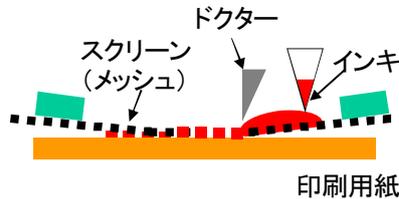
c) 凹版印刷



d) グラビア印刷



e) スクリーン印刷



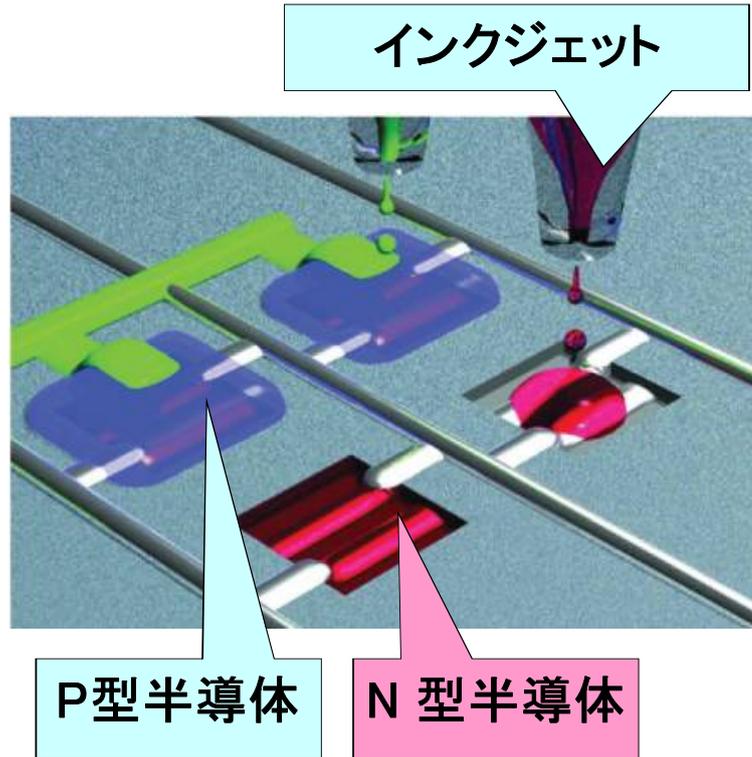
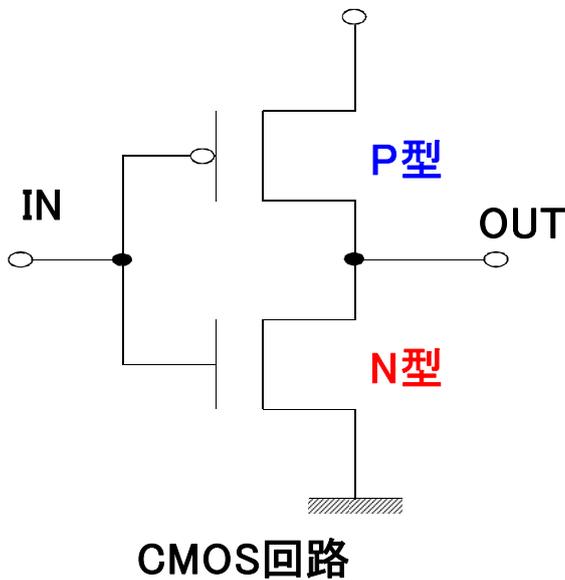
f) インクジェット印刷



シリコン・フォトリソグラフィと有機・印刷の比較

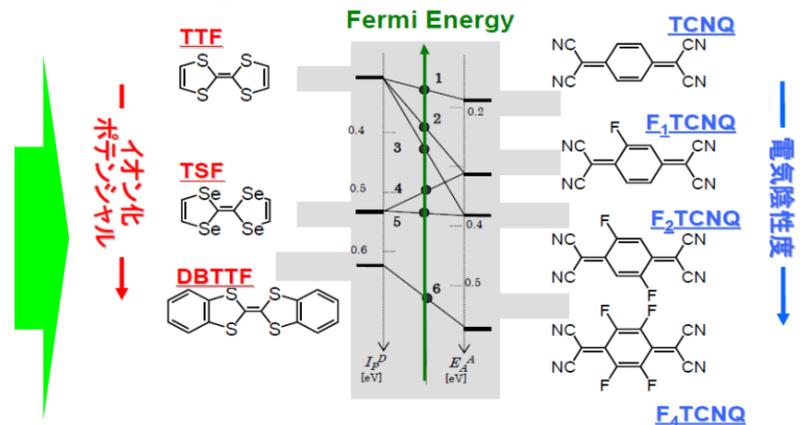
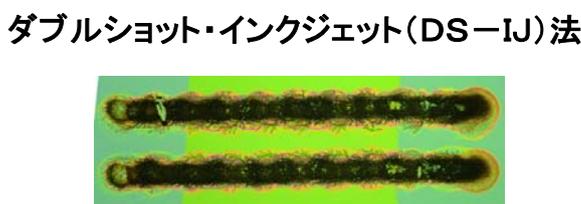
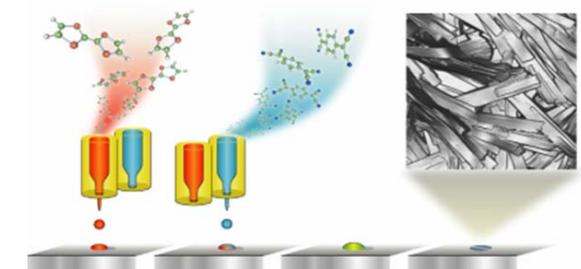
	シリコン (フォトリソグラフィ)	有機 (印刷)
材料	製膜材料の90%以上は除去	必要な部材を必要なところに: オン・デマンド⇒省資源プロセス
プロセス	多段工程、真空・高温	高速(タクトタイムの低減)、 大気中・室温⇒省エネルギー
製品	高性能ではあるが、剛直、 落とすと壊れる	ソフト、軽い、曲げることが可能 落としても壊れない
初期投入 資本	高額な電子線描画装置、 真空ラインおよび高品質 クリーンルーム	印刷装置は電子線描画装置など に比べて安く、装置内のみのク リーン化で十分

インクジェット法による有機CMOS作製



ダブルショット・インクジェット (DS-IJ) 法による 有機電極の作製 (電荷移動型錯体)

- ・ 電子供与性 (ドナー: D) 分子と電子吸引力 (アクセプター: A) 分子の錯体は、電導性を示す → 有機電極
- ・ D-A分子の組み合わせによりフェルミ順位 (仕事関数) を制御可能
- ・ 有機半導体への電荷注入、取り出しの効率化、低電圧駆動



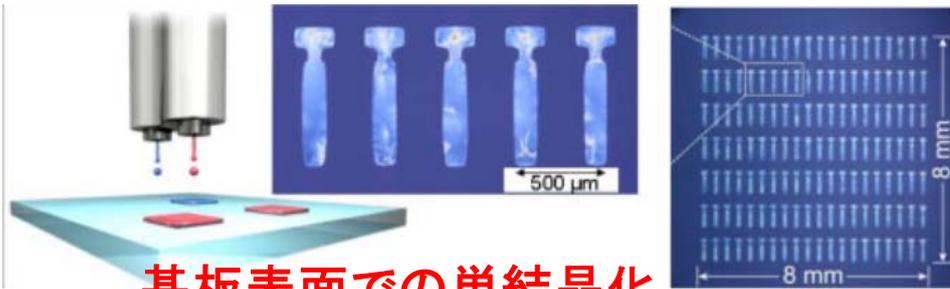
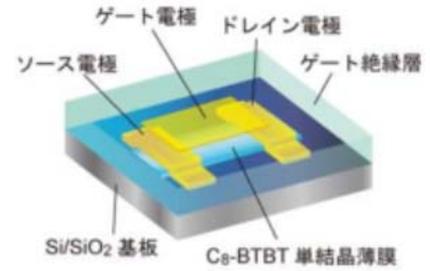
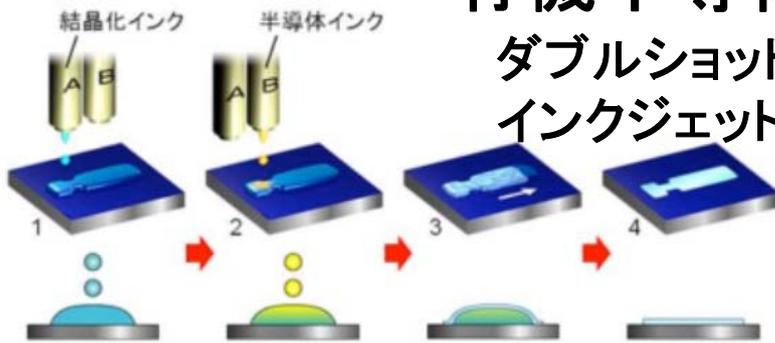
分子修飾

仕事関数の化学制御

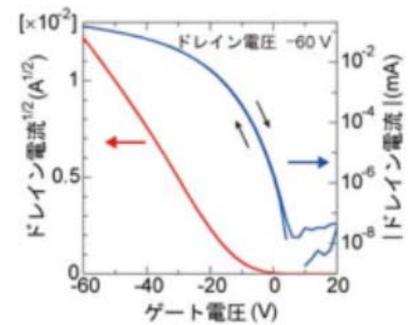
産総研・FLEC 長谷川達生

世界最高の移動度 (31.3 cm²/Vs) の 有機半導体薄膜

ダブルショット インクジェット法



基板表面での単結晶化

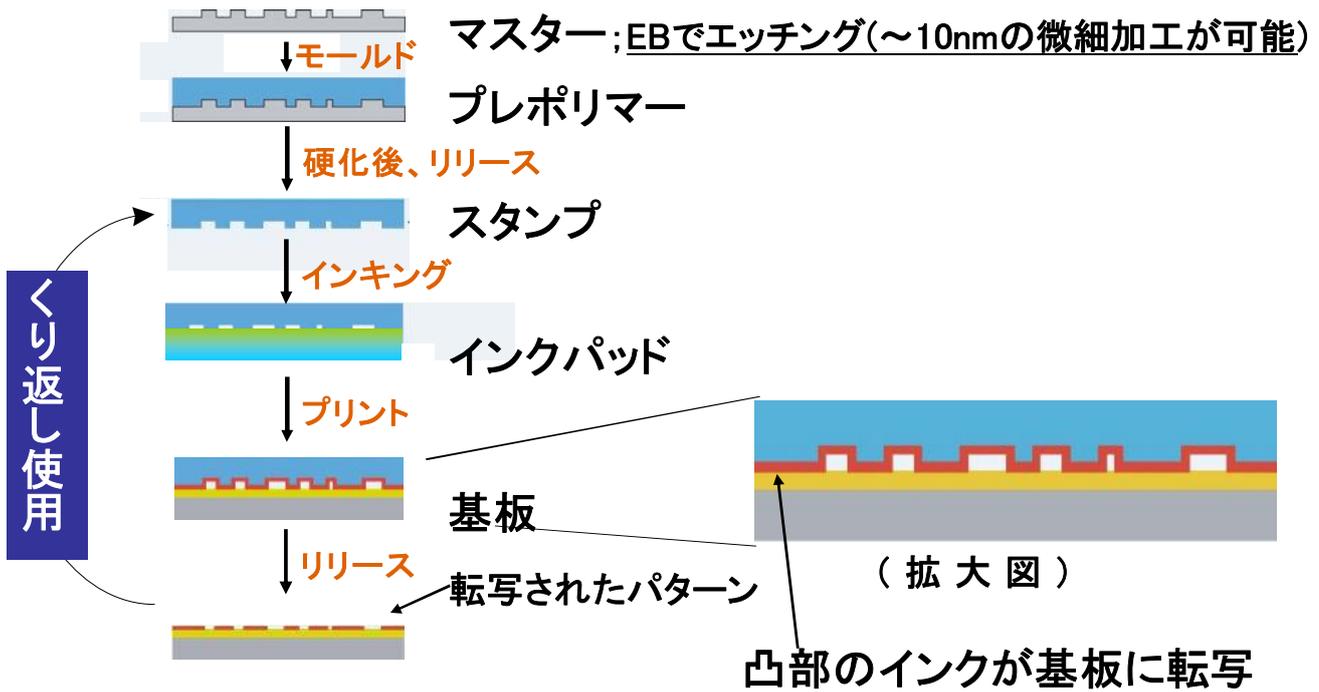


http://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2011/pr20110714/pr20110714.html

各種印刷法の比較

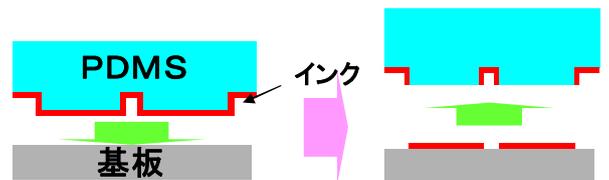
印刷法	インク粘度 (mPa·s) or (cP)	最小/最大 膜厚 (μm)	分解能 (精細度)	印刷速度 (m ² /s)
スクリーン	(2 - 30) x 10 ³	10-20 / 100	20 μm	10
グラビア	50 - 500	2- 3 / 25	30 μm	50
フレキソ グラフィー	100 - 1000	3- 5 / 15	35 μm	10
オフセット	(4 - 10) x 10 ³	1 / 5	10 μm	20
インクジェット	1 - 10 ⁴	10-20 / 100	20 μm	0.01
マイクロ コンタクト	-	1 nm / 2 μm	15-20 nm	10⁻⁵

マイクロコンタクトプリント法

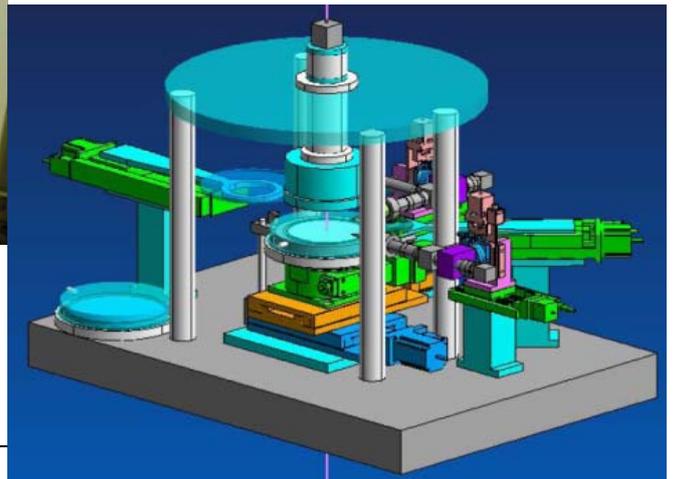


B. Michel et.al., Chimia 56, 527 (2002) より転載

マイクロコンタクトプリンター(6インチ)



マイクロコンタクトプリント法



- ・ PDMS版と基板の平行性
- ・ 圧力の精密制御
- ・ 印刷の位置合わせ

マイクロコンタクトプリンター



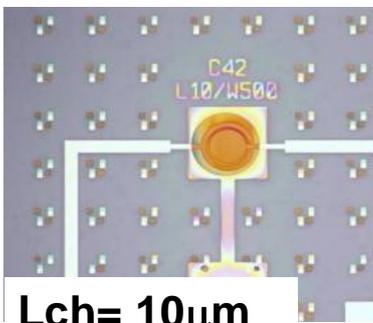
10cm[□]

A4

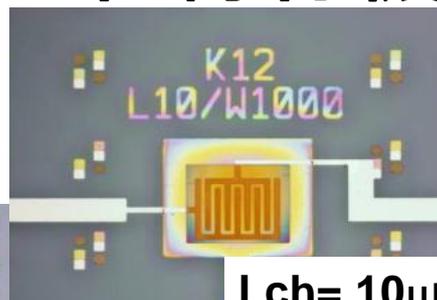
Newly Designed and Produced

6 inch

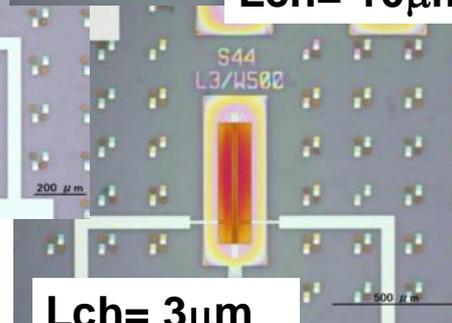
印刷有機TFT



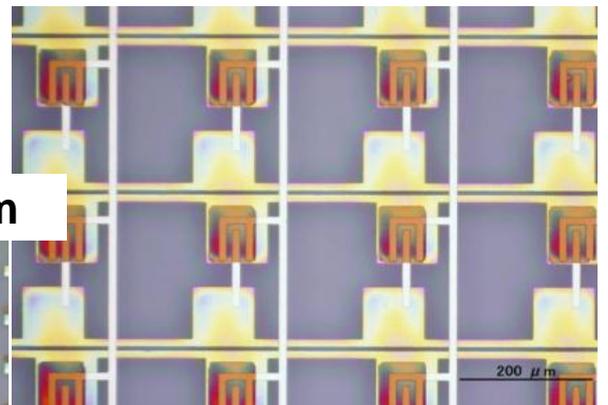
Lch= 10 μ m



Lch= 10 μ m



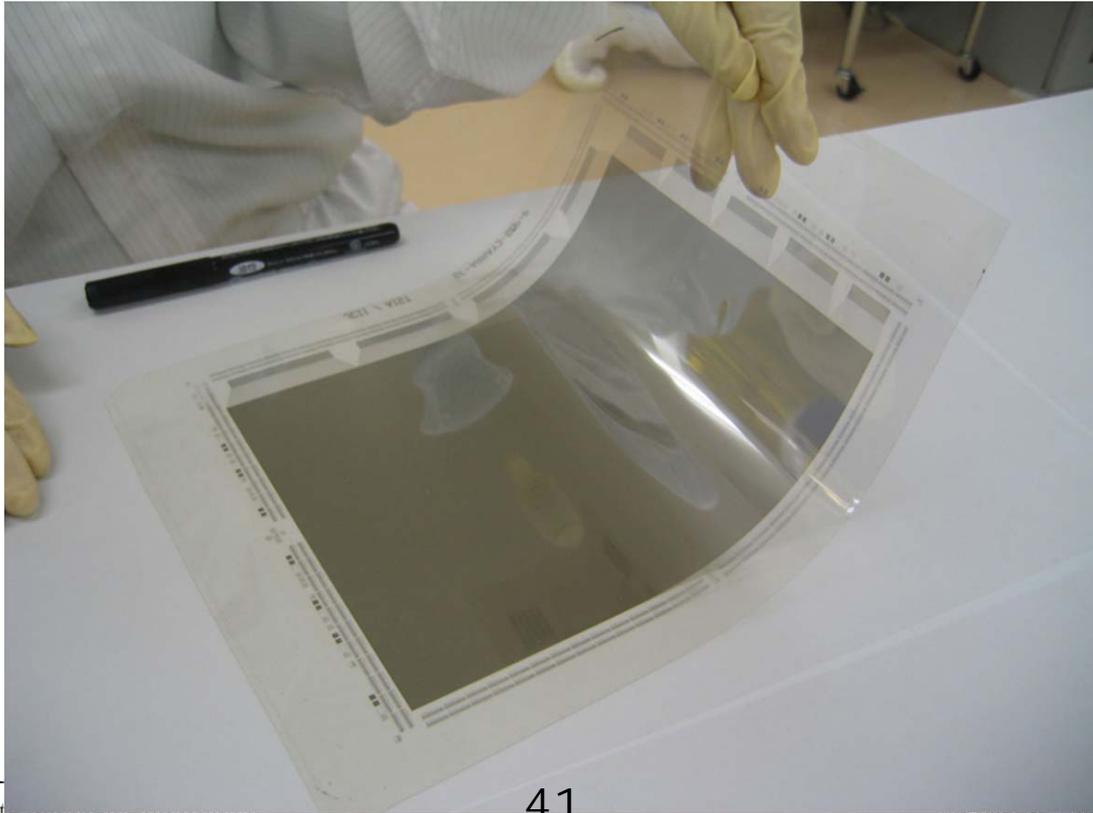
Lch= 3 μ m



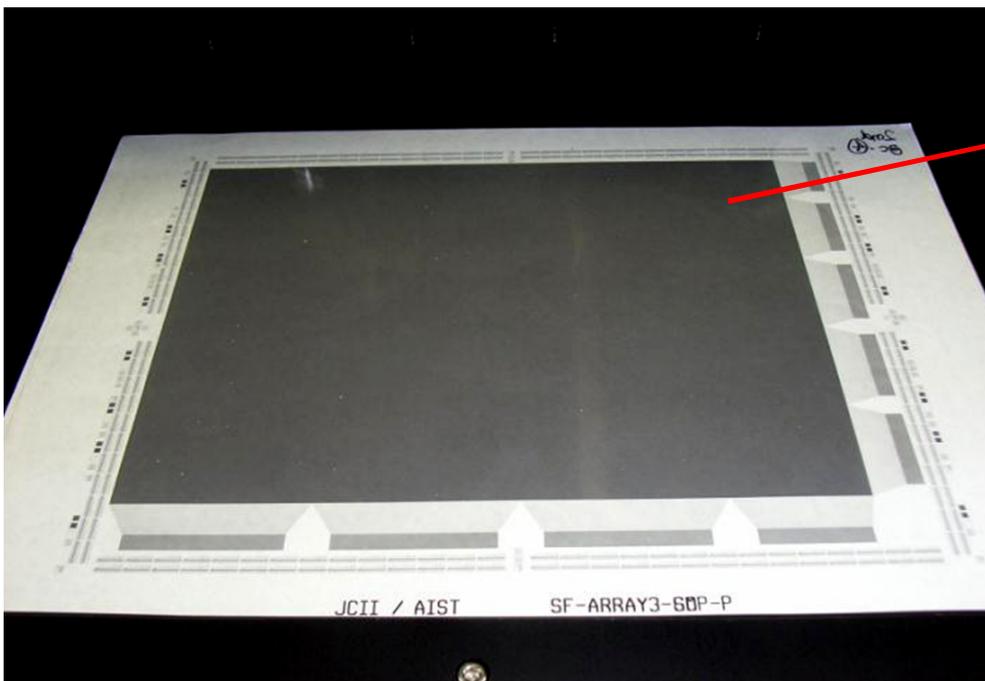
Lch=10 μ m 100ppi Array

Channel Length (Lch) of 10 μ m
Pixel Size of 100 ppi

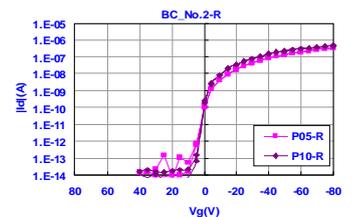
大面積・高精細印刷TFTアレイ



UXGAの有機TFTアレイ



127 μm



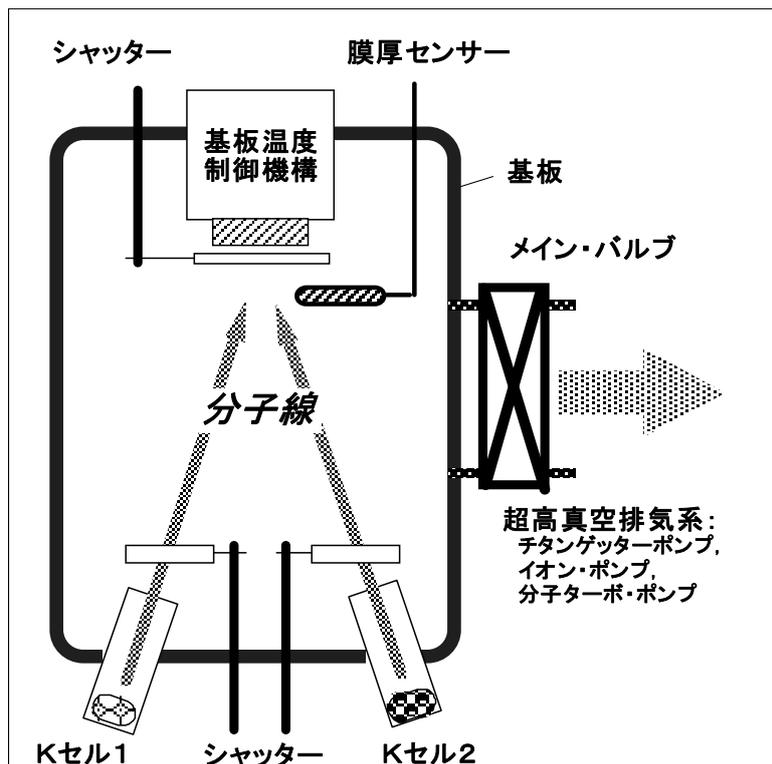
ON/OFF比: 6~7桁
 移動度: 0.003~0.005 Vs/cm^2
 閾値電圧: $0 \pm 10 \text{ V}$

200ppi、1,600 × 1,200画素、対角10 inch

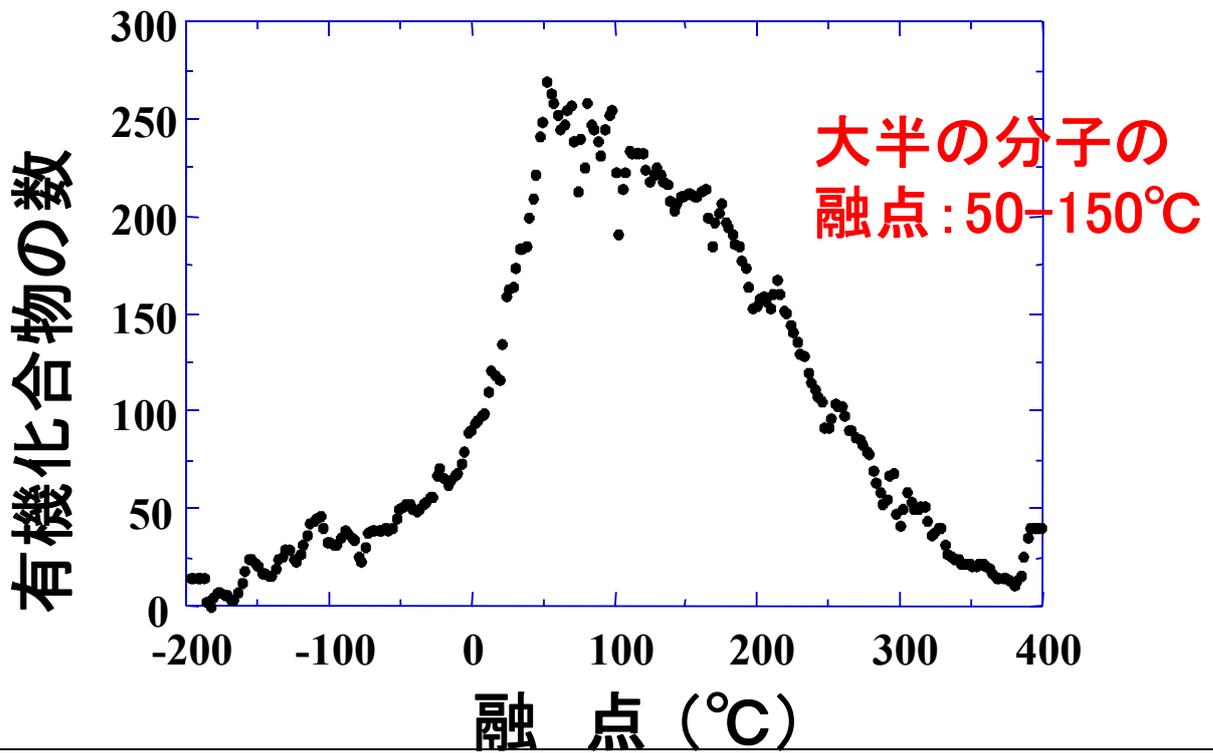
ドライ・プロセス

手法	特徴	適用例
真空蒸着法	有機分子を高真空中(10 ⁻⁵ ~10 ⁻⁷ Torr)で蒸着、成膜する	色素など
有機分子線エピタキシー(OMBE)法または有機分子線蒸着法(OMBD)法	有機分子を超高真空中(10 ⁻⁸ ~10 ⁻¹⁰ Torr)で蒸着、成膜する(構造制御された薄膜形成が可能、表面構造・分析のその場計測が可能)	フタロシアニン、フラーレンなど
蒸着重合法	アミド基、酸無水物、酸クロリド基などの縮合重合性モノマーの蒸着により基板表面で重合させる(高分子膜の真空成膜)	ポリイミド、ポリ尿素
摩擦転写法	不溶不融高分子を加熱した基板表面で圧延、走引する	テフロン、導電性高分子(ポリパラフェニレン、ポリフェニレンビニレン)、ケイ素系高分子
スパッタ法	アルゴン等の不活性ガスによる蒸発原料のターゲットからのたたき出しと基板への堆積	テフロン、ポリイミド等
化学気相堆積(CVD)法	反応性ガスの輸送による化学反応を伴う製膜	
レーザーアブレーション法	レーザーによる原材料のたたき出し(アブレーション)	高分子基板表面の加工

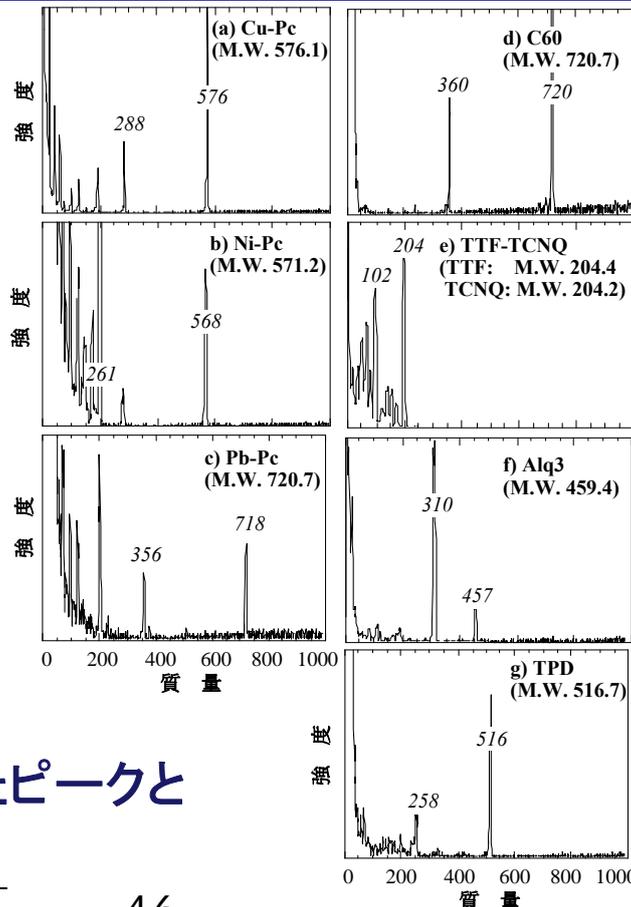
真空蒸着法・有機MBE法



有機化合物の融点

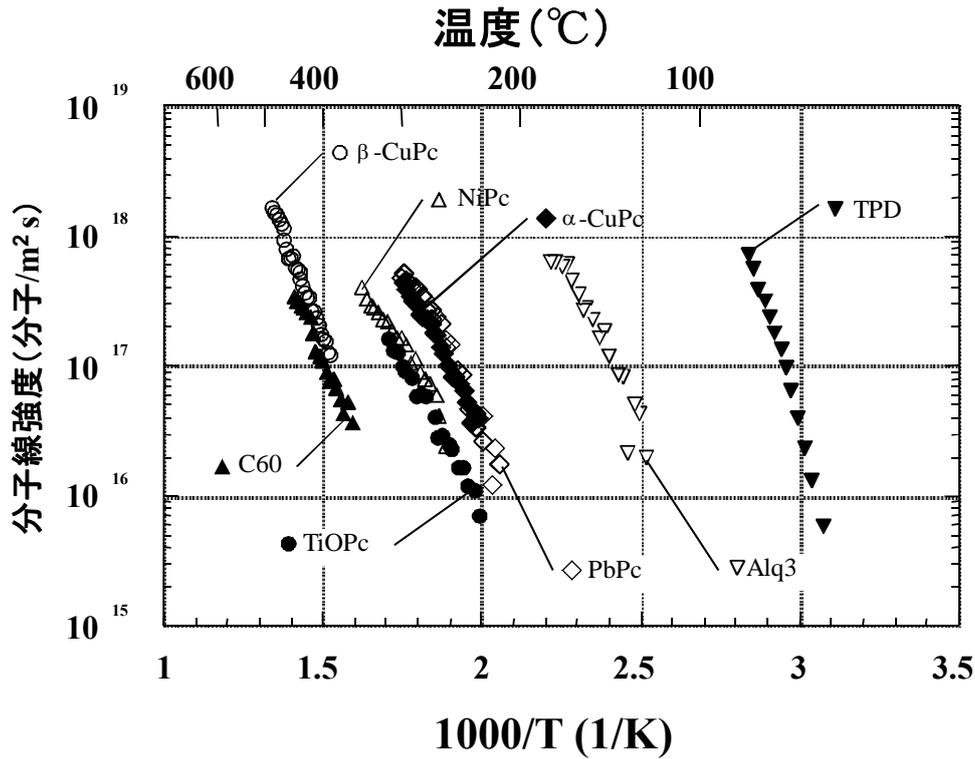


蒸発分子の質量分析

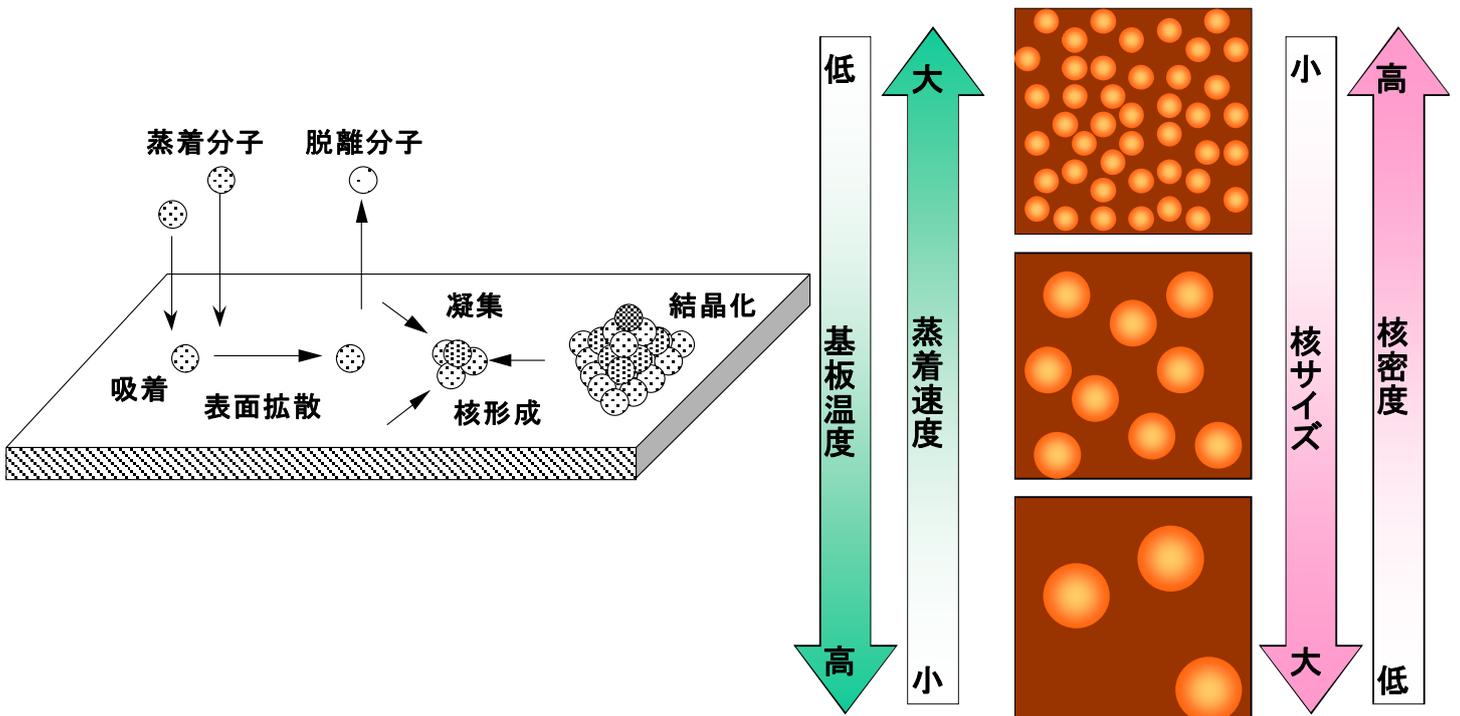


分子量(MW)に対応したピークと
2価にイオン化したもの

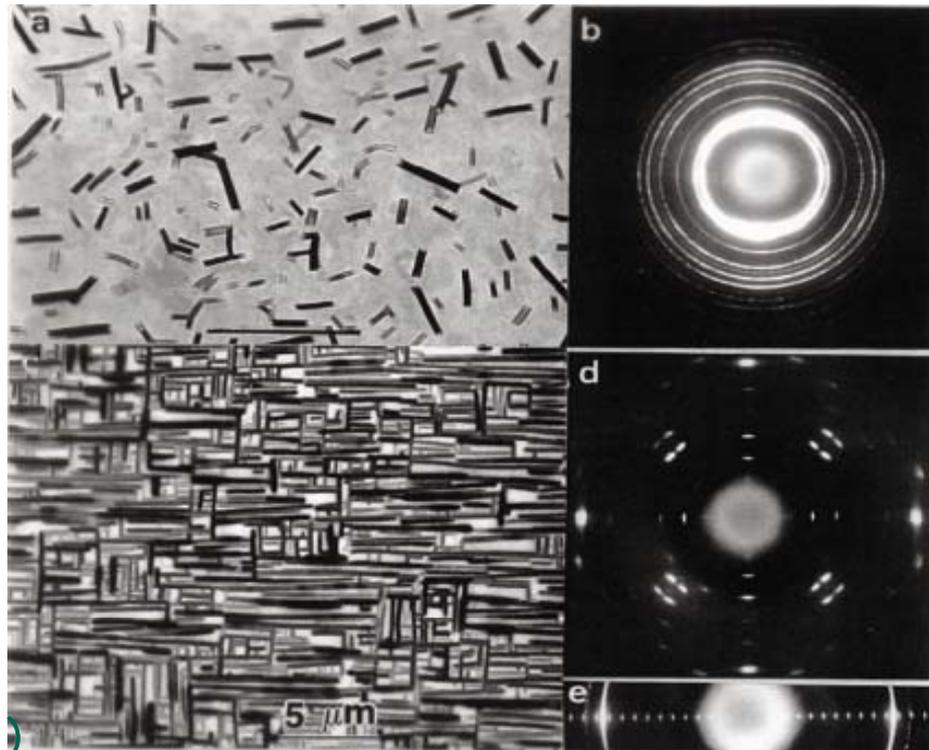
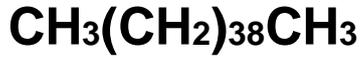
分子線強度(飽和時)の温度依存性



蒸発分子の基板表面でのダイナミクス

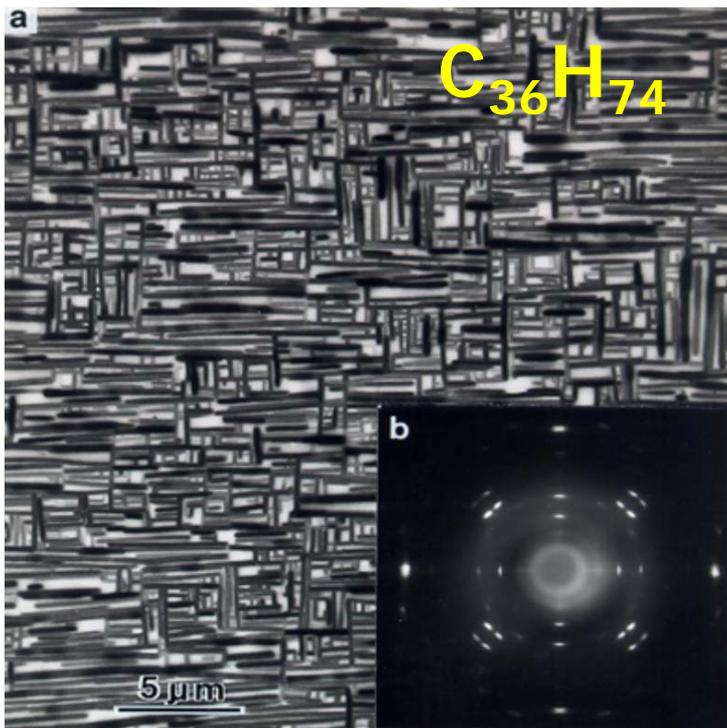


KCl上のパラフィン膜の構造

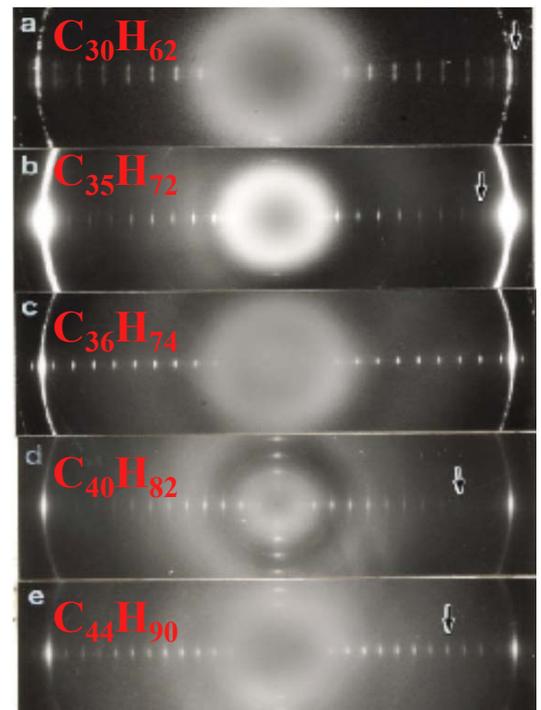


上田裕清(神戸大)

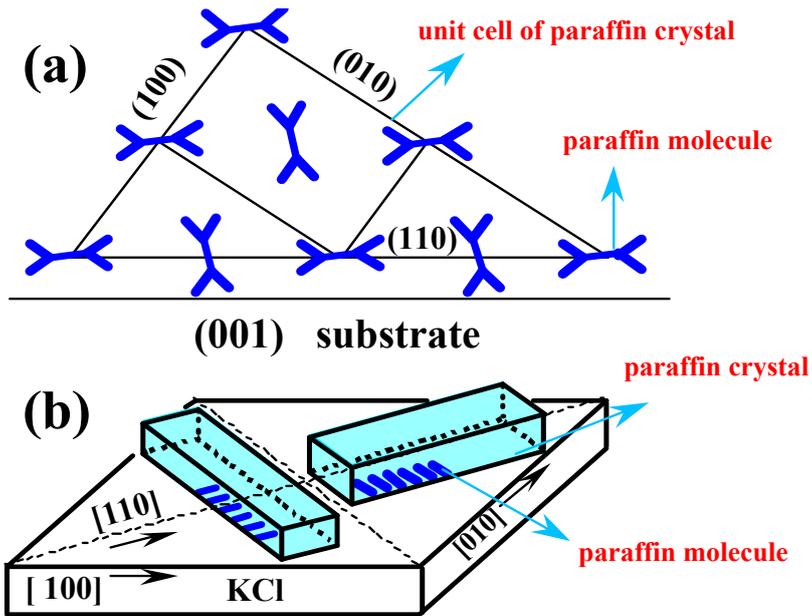
パラフィンのエピタキシャル成長



上田裕清(神戸大)



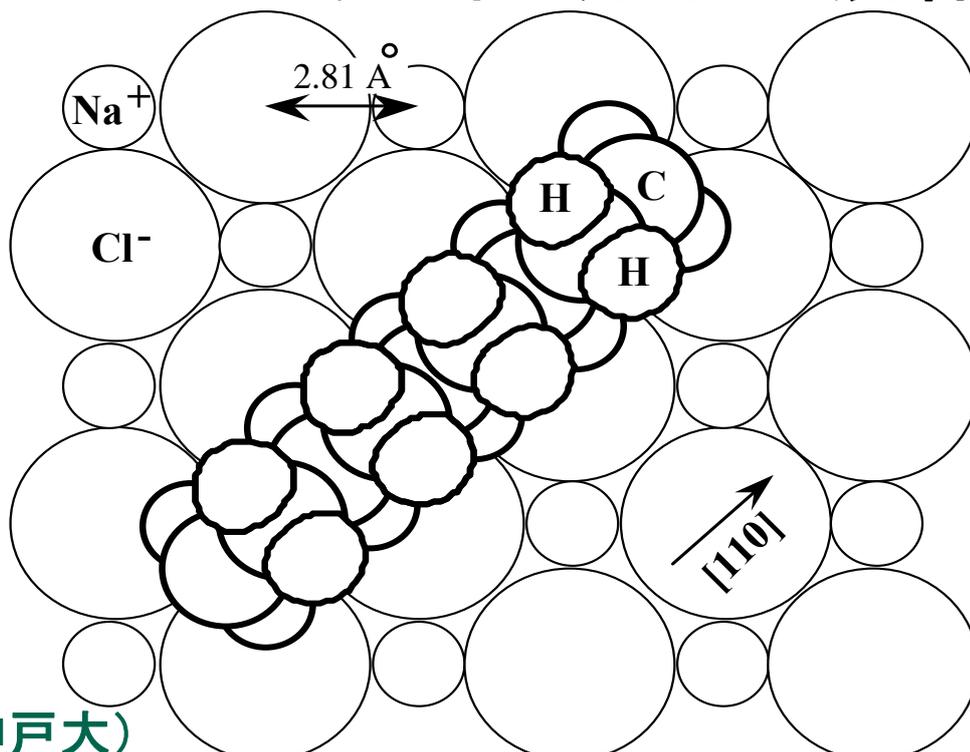
パラフィンのKCl(001)面上での配向モデル



上田裕清
(神戸大)

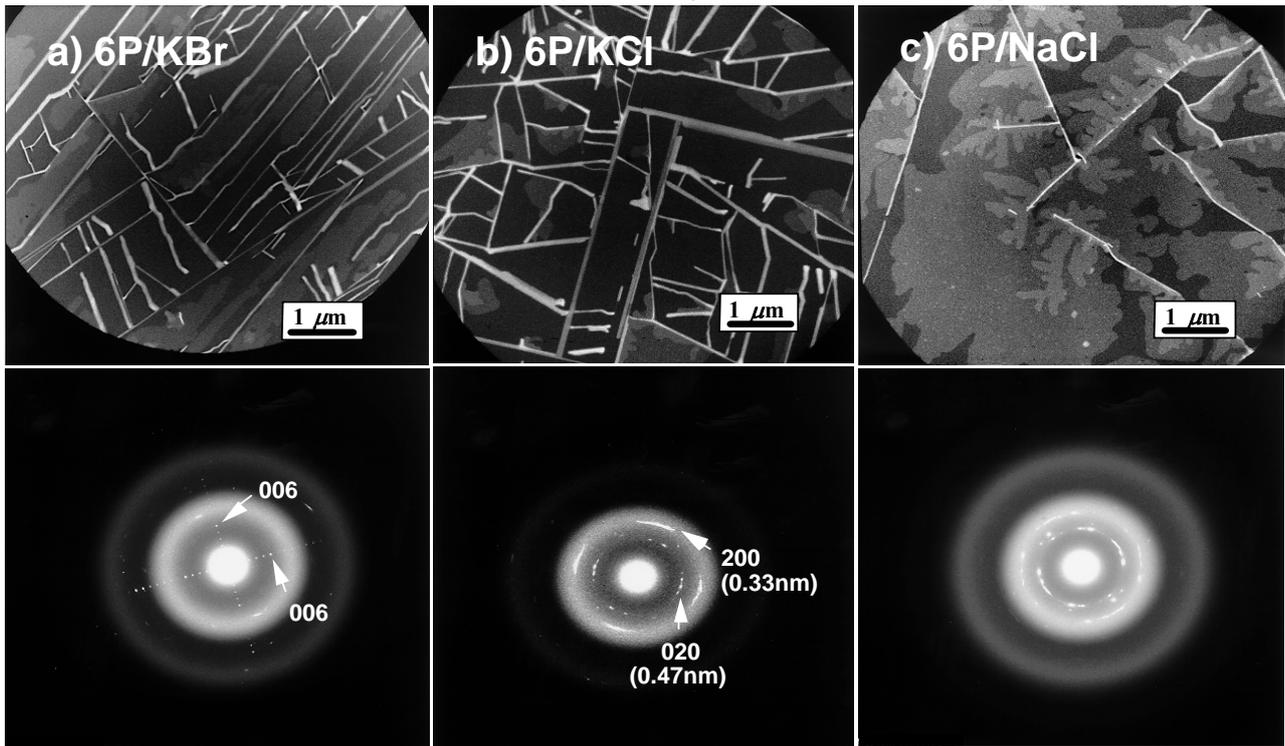
Orientation of paraffin molecules
on a (001) _{KBr} surface.

NaCl上のパラフィン分子の吸着



上田裕清(神戸大)

アルカリハライド上に成長した 6P分子の電子顕微鏡像と電子線回折



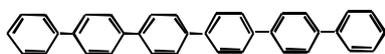
Epitaxial Growth of Organic Molecules - Misfit -

6P: $a=0.65$, $b=0.94$, $c=2.68$ nm ($d(020)=0.47$ nm)

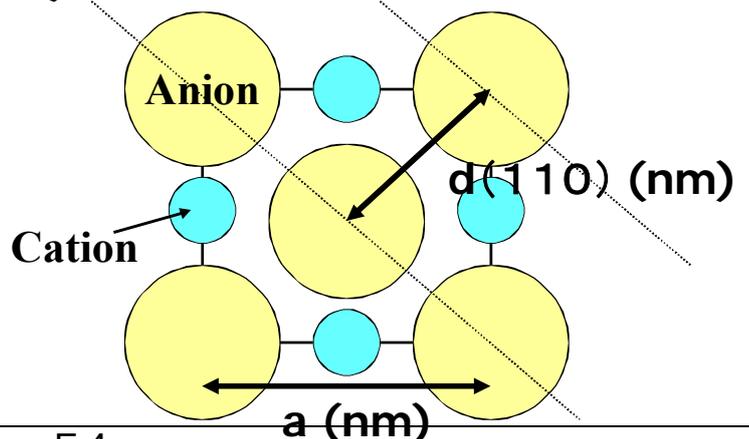
KBr: $a=0.660$ nm, $d(110)=0.467$ nm, $m=0.9$ %

KCl: $a=0.630$ nm, $d(110)=0.445$ nm, $m=5.8$ %

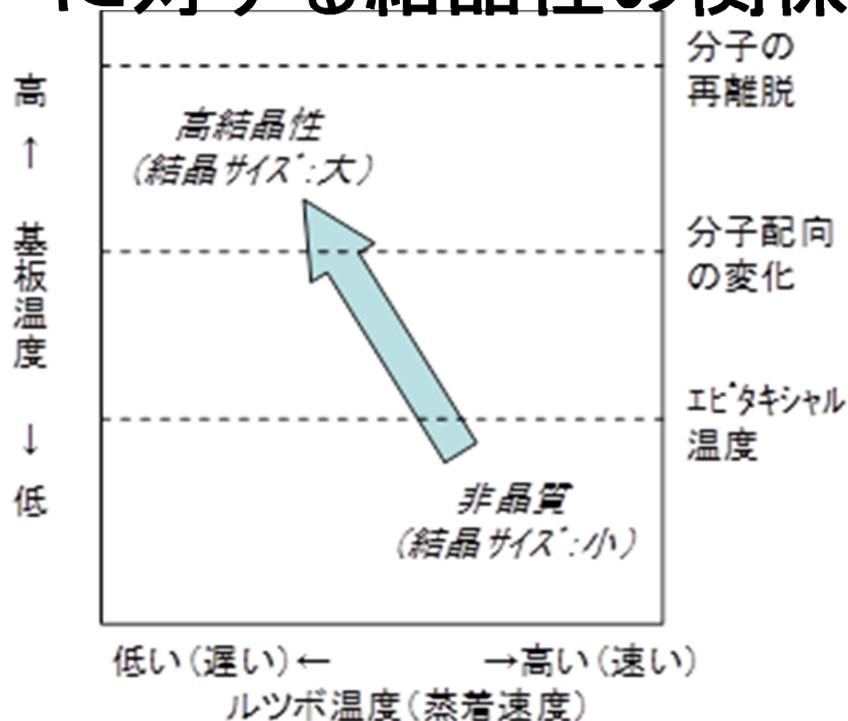
NaCl: $a=0.563$ nm, $d(110)=0.398$ nm, $m=18.3$ %



Sexiphenylene (6P)



ルツボ温度(蒸着速度)と基板温度 に対する結晶性の関係



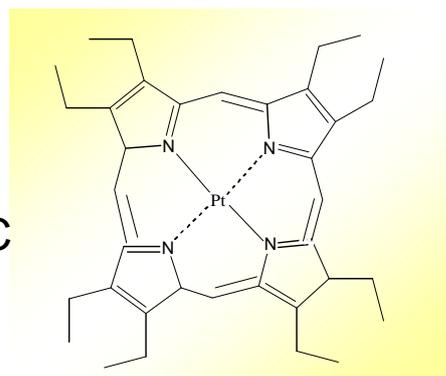
ポルフィリンのエピタキシャル薄膜

■ Sample

1. PtOEP on KBr and KCl substrate at room temperature.
2. PtOEP on KBr and KCl substrate at 50°C.

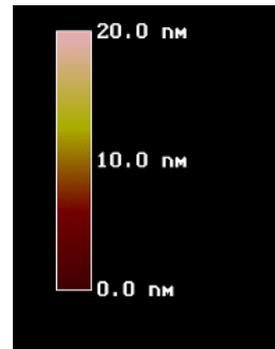
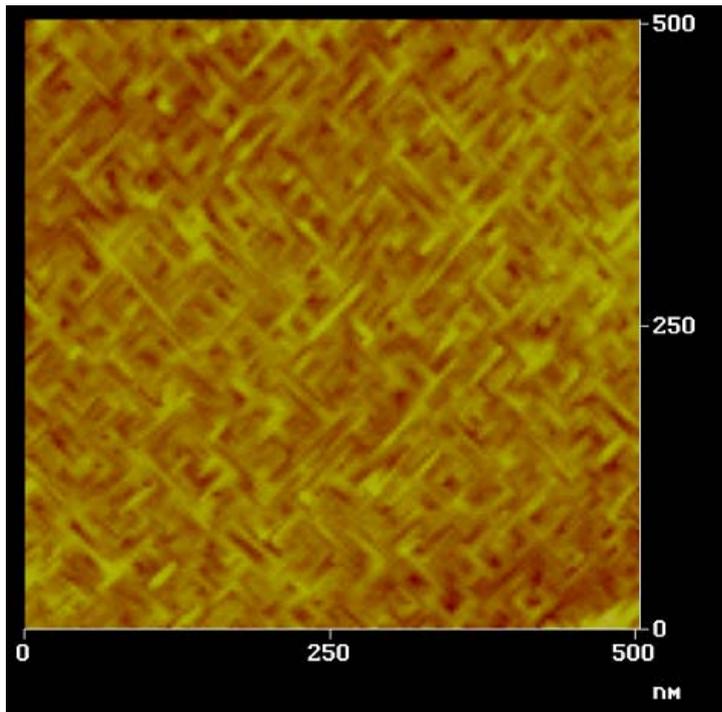
■ Deposition condition

1. Vacuum : $2\sim 3 \times 10^{-6}$ Torr
2. Rate of deposition: $\sim 0.3 \text{ \AA/sec}$
3. Evaporation temperature of PtOEP: 280°C



PtOEP

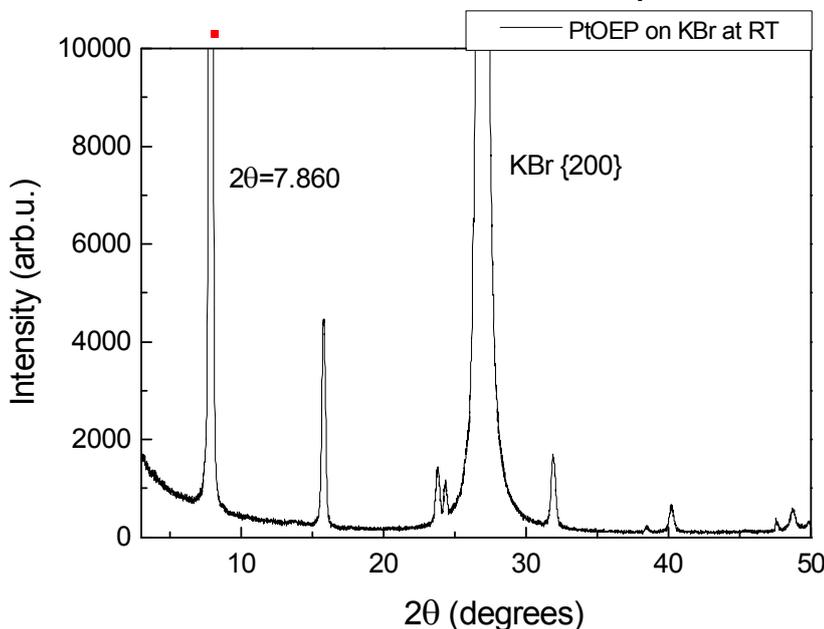
ポルフィリン/KBr($T_s=25^\circ\text{C}$)のAFM像



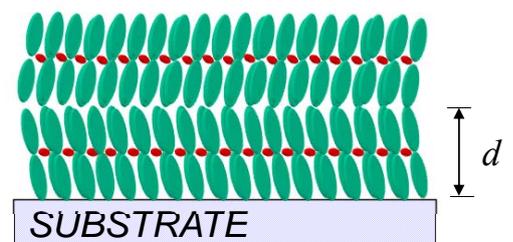
PtOEP on KBr
($T_s = 25^\circ\text{C}; t \sim 100 \text{ nm}$)

ポルフィリン/KBr ($T_s=25^\circ\text{C}$)のX線回折

X-ray Diffraction Data of PtOEP Film ($\sim 100 \text{ nm}$) on KBr at Room Temperature.

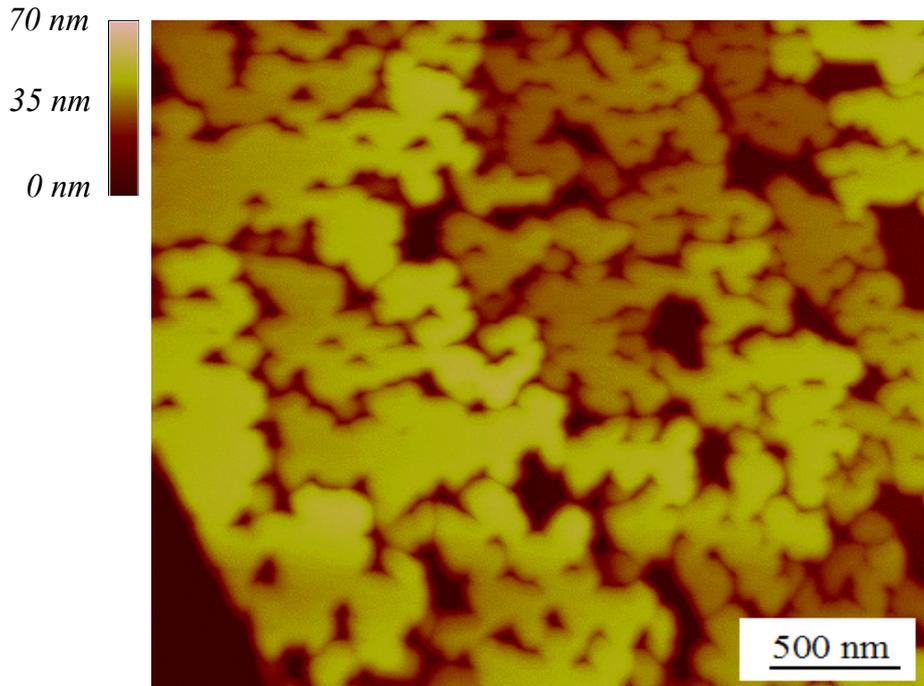


$$2d\sin\theta = n\lambda$$



$$d = 11.239 \text{ \AA} \quad (2\theta = 7.860)$$

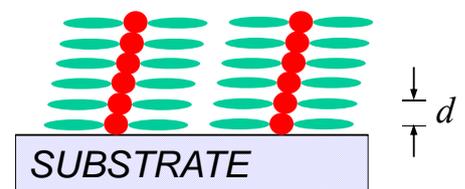
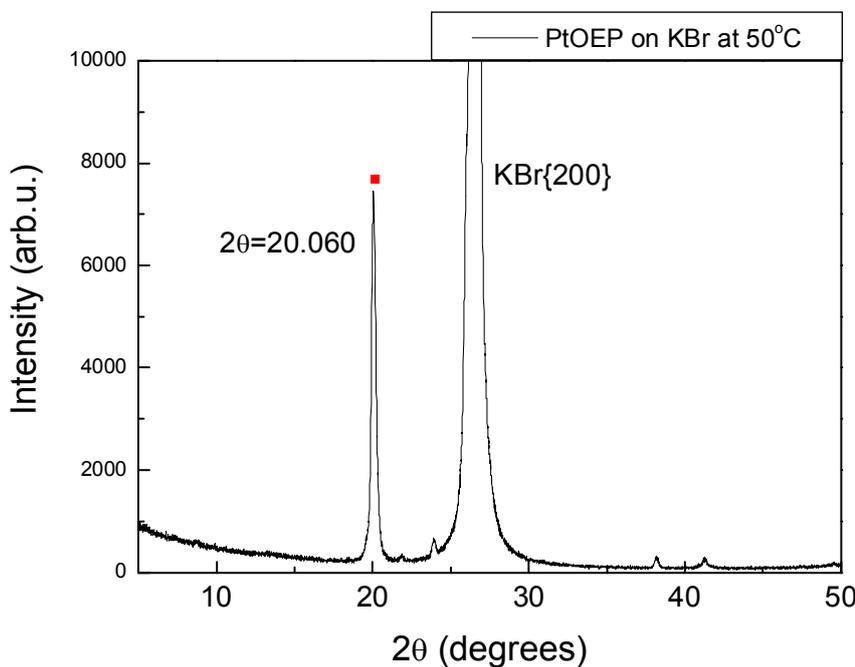
ポルフィリン/KBr($T_s=50^\circ\text{C}$)のAFM像



PtOEP on KBr
($T_s = 50^\circ\text{C}; t \sim 10 \text{ nm}$)

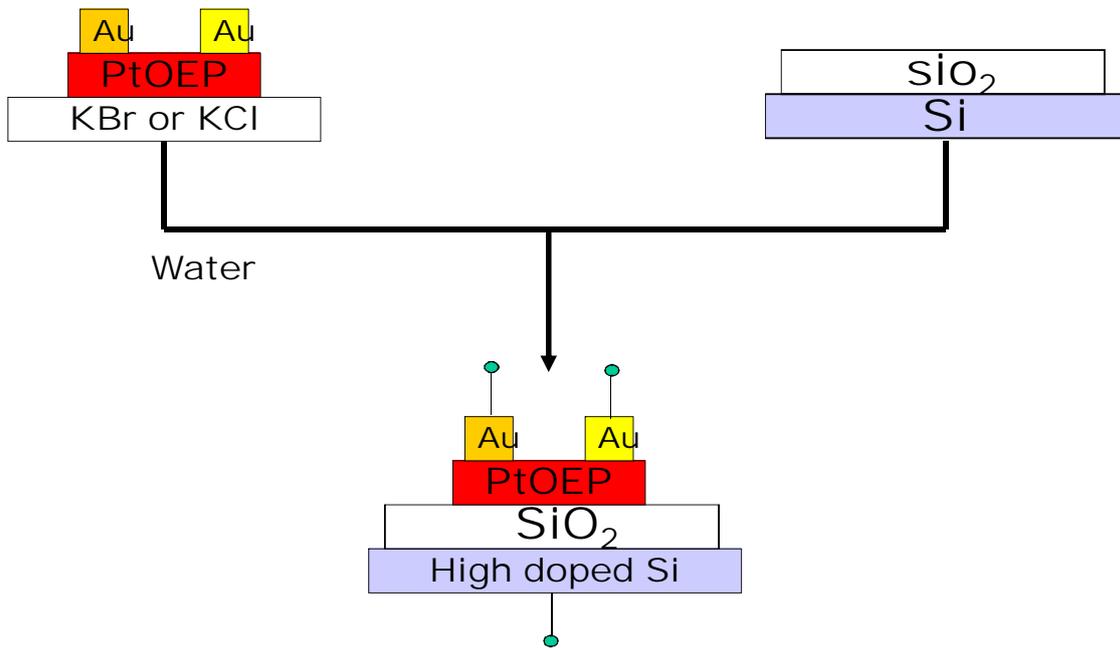
ポルフィリン/KBr ($T_s=50^\circ\text{C}$)のX線回折

X-ray Diffraction Data of PtOEP Film ($\sim 100 \text{ nm}$) on KBr at 50°C .



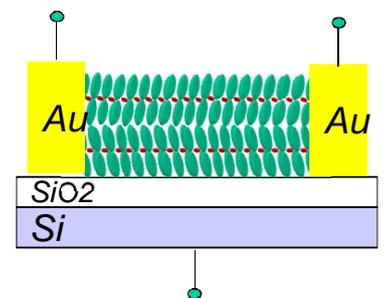
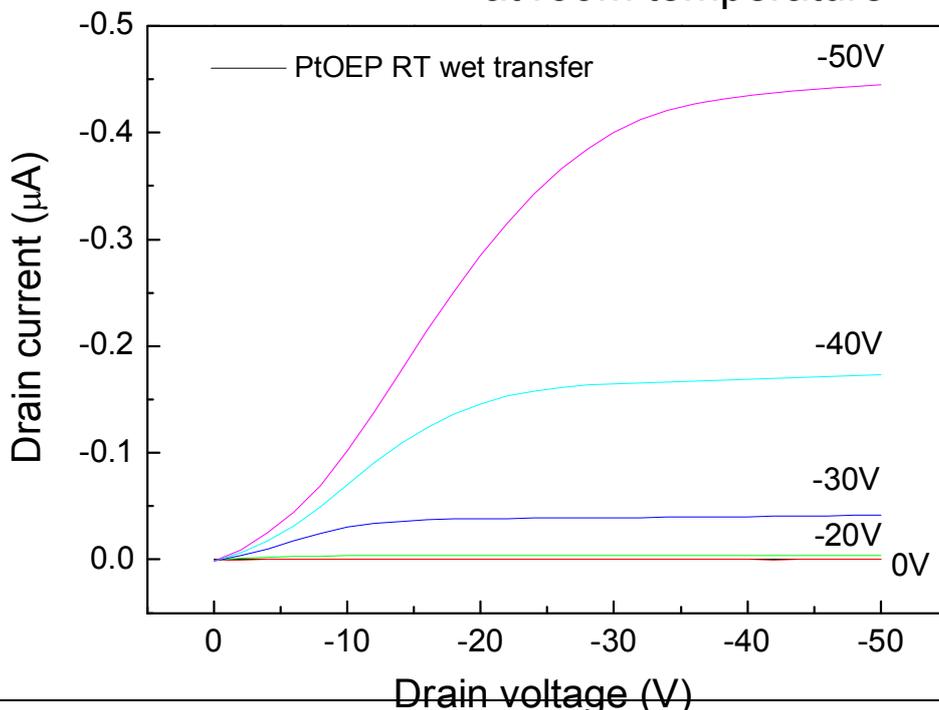
$d = 4.423 \text{ \AA} \text{ (} 2\theta = 20.060 \text{)}$

水面転写法 (Wet Transfer Method)



ポルフィリン垂直配向膜のFET特性

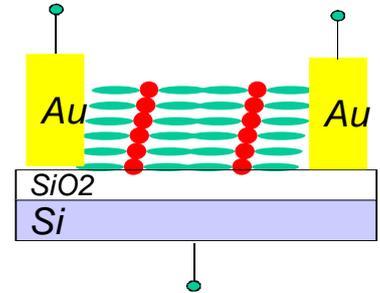
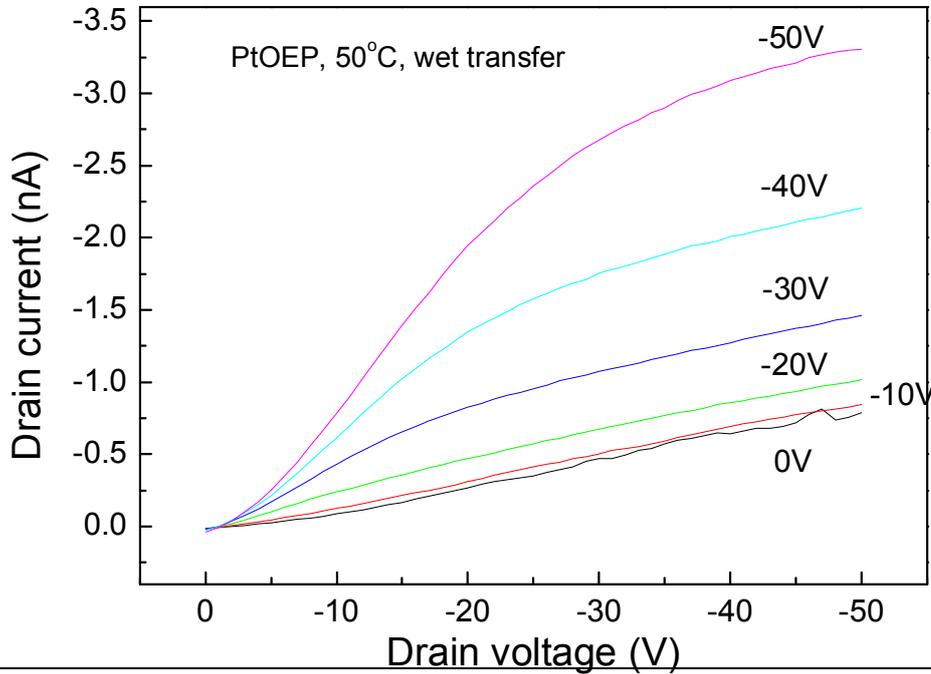
I_d - V_d characteristics of wet transferred PtOEP FET from KBr to SiO₂ at room temperature



$$1.3 \times 10^{-4} - 2.2 \times 10^{-4} \text{ cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$$

ホルフィン平行配向膜のFET特性

I_d - V_d characteristics of wet transferred PtOEP FET from KBr to SiO_2 at 50°C

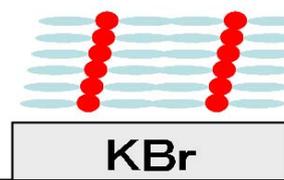
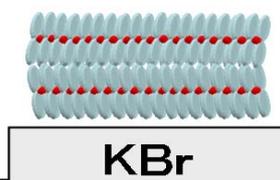
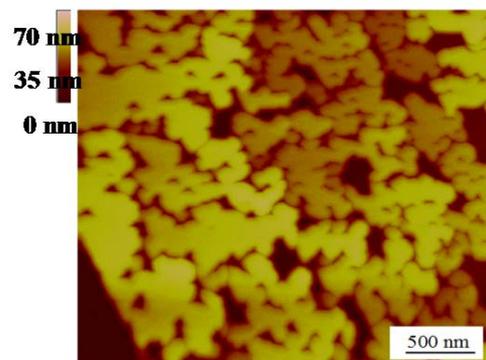
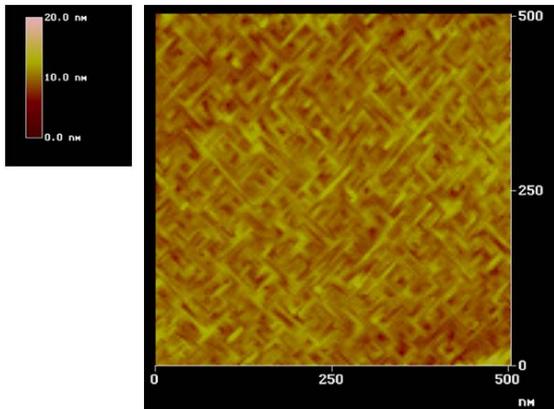


$$1.5 \times 10^{-6} \text{ cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$$

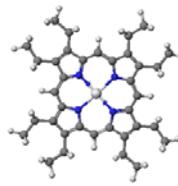
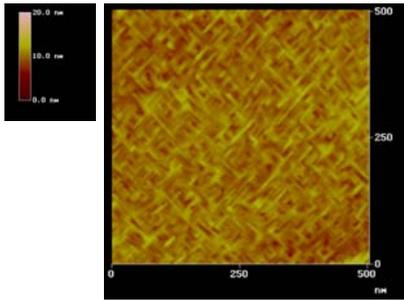
白金オクタエチルホルフィン(PtOEP)の配向成長

a) PtOEP/KBr (25°C)

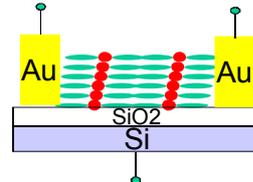
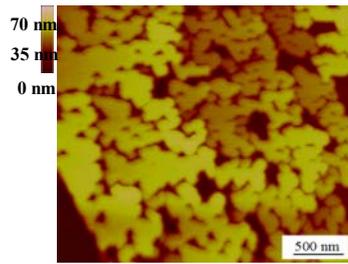
b) PtOEP/KBr (50°C)



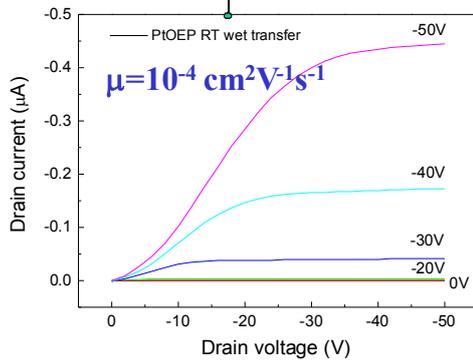
配向制御有機TFT: エピタキシャル薄膜



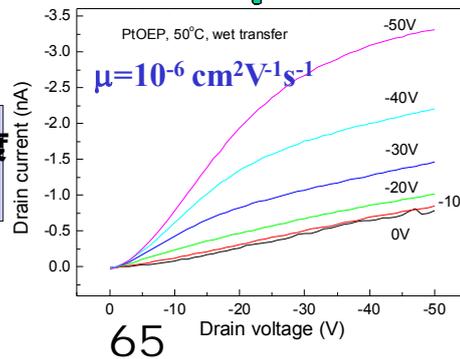
PtOEP



アルカリハライド(岩塩構造)上に真空蒸着によりエピタキシャル成長したホルフリン分子の配列制御薄膜のトランジスタ特性



移動度
百倍



J.Chem.Phys., 118(6), 2853-2864 (2003).

Adv.Maters. 15(9), 699-702 (2003).

独立行政法人 産業技術総合研究所

C60(フラーレン)の薄膜成長

Thin Solid Films, 331(1-2), 131-140 (1998)

- ✓ C60蒸着膜: 下地の影響
 - ✓ アルカリハライド、雲母基板上でのエピタキシャル成長
 - ✓ 欠陥導入の基板依存性
 - ✓ ステップ上での優先的核発生
 - ✓ 核密度のテラス幅依存性
-
- 蒸着膜のサイズ → 成長速度
 - 結晶核の面密度 → 拡散距離

C60蒸着膜

a) Interdigitated Au Electrode



金 (Au) 電極上と
ガラス基板表面
でのC60の凝集
構造の違い

b) SEM Photograph

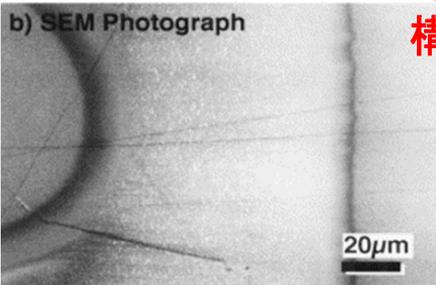
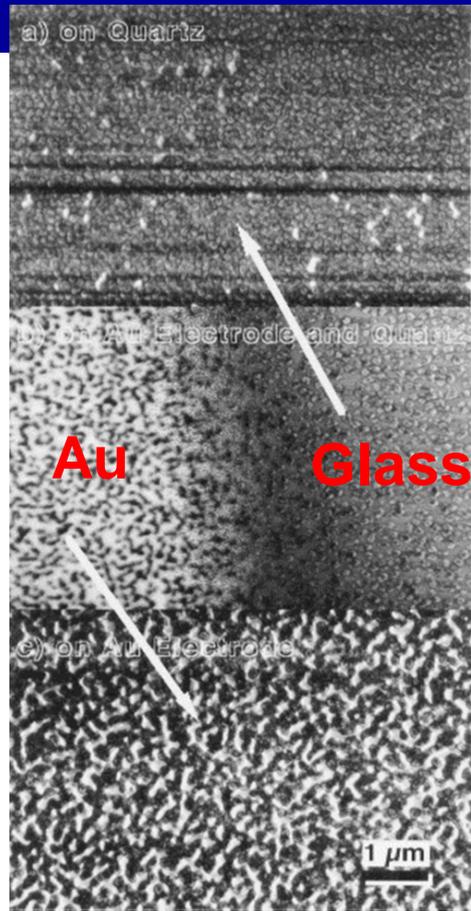


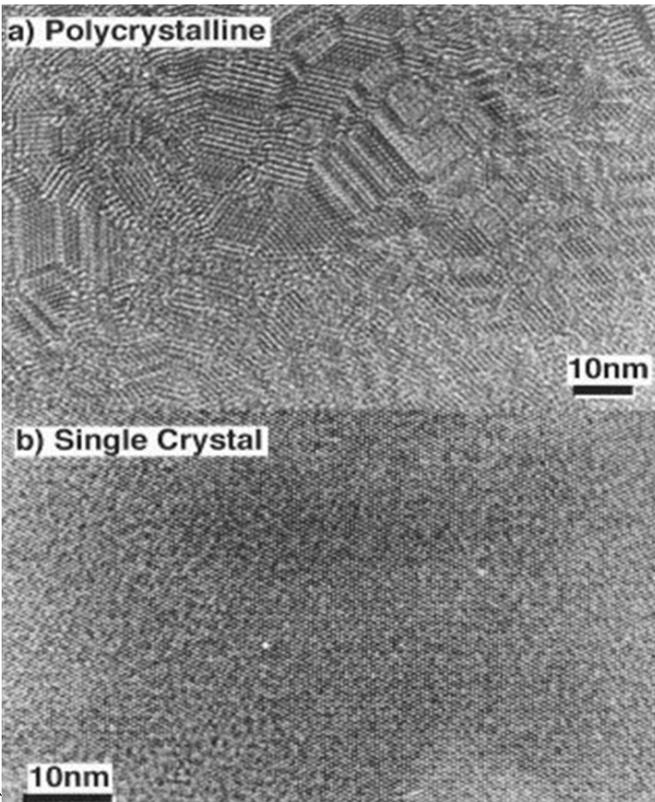
Fig. 1. Schematic illustration of interdigitated gold electrode formed on a quartz plate (a) and a scanning electron micrograph (b).

Fig. 2. Scanning electron micrographs of film morphology formed on a quartz plate (a), on the intermediate region between electron and quartz plate and on a gold electrode (c).



Thin Solid Films, 331(1-2), 131-140 (1998)

高品質有機結晶薄膜



2段階成長

- ①結晶核の方位成長：
基板温度⇒エピタキ
シャル温度
- ②表面拡散を活かした
面成長：基板温度⇒高

Fig. 3. High resolution transmission electron micrographs of C60 thin films formed on KCl substrate: without deposition control to become polycrystalline (a) and with precise control to become large single crystal domain (b).

Thin Solid Films, 331(1-2), 131-140 (1998)

C60(フラーレン)の薄膜成長

Thin Solid Films, 331(1-2), 131-140 (1998)

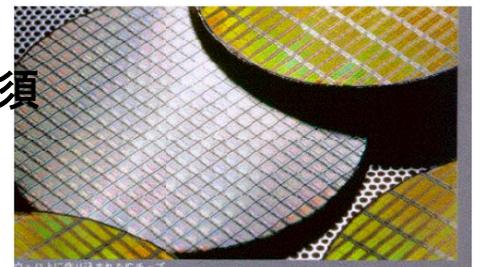
- ✓ C60蒸着膜: 下地の影響
 - ✓ アルカリハライド、雲母基板上でのエピタキシャル成長
 - ✓ 欠陥導入の基板依存性
 - ✓ ステップ上での優先的核発生
 - ✓ 核密度のテラス幅依存性
- 蒸着膜のサイズ→成長速度
 - 結晶核の面密度→拡散距離

< C60分子は、基板表面を10 μm 動くことができる! >

有機エレクトロニクス

超高集積・高速デバイス: シリコンテクノロジー

- => 微細加工(リソグラフィ、三次元積層)が必須
- ・剛直: 脆性(落とすと壊れる)
- ・高温(>千 $^{\circ}\text{C}$)
- ・大面積化には、膨大な設備投資が必要

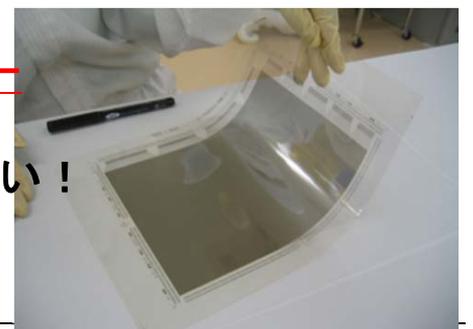


有機もなかなかできる!!

<有機ELディスプレイの市場展開>

ユビキタス・アンビエントデバイス: 有機テクノロジー

- => 印刷技術の応用が必須
- ・フレキシブル(ペーパーライク): 落としても壊れない!
- ・低温(~百 $^{\circ}\text{C}$)!
- ・大面積化に対応済み!



配向制御有機薄膜デバイスの必要性

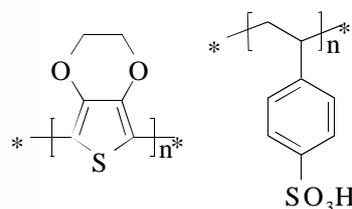
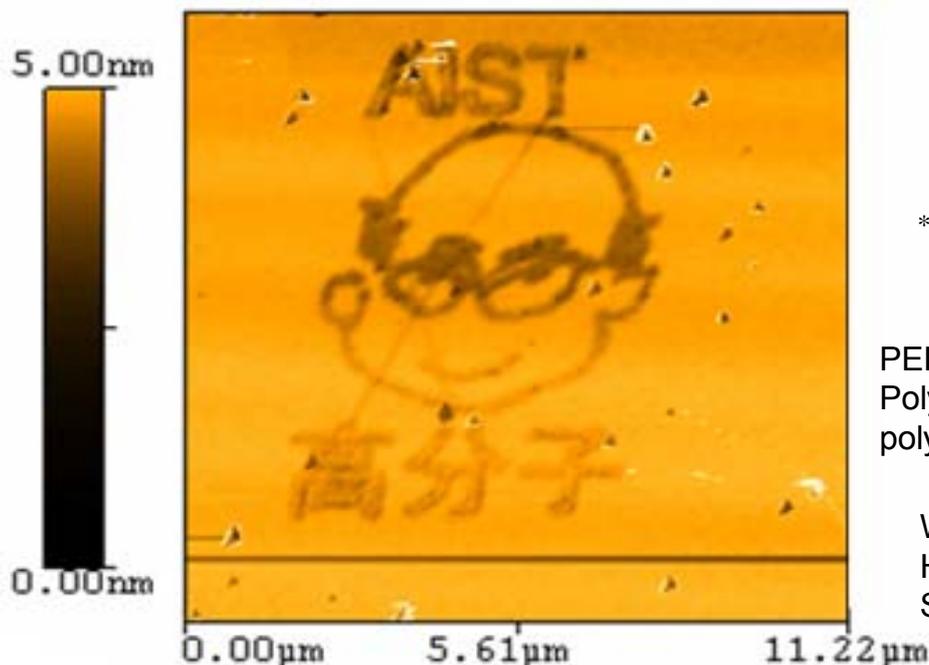
非晶質薄膜: 低欠陥、再現性=>ほどほどの特性

配向制御薄膜: 異方的特性=>それなりの特性

結晶性薄膜: 単結晶=>理論値に匹敵する特性
 <ただし、薄膜全体が単結晶である必要はない! >

薄膜作製技術と薄膜構造評価技術

Thank You



PEDOT-PSS:
 Poly(3,4-ethylenedioxythiophene)
 poly(styrenesulfonate)

Width = 200 ~ 700 nm
 Height < 2 nm
 Substrate: SiO₂

導電性高分子 (PEDOT:PSS) をペンタイプ・ナノリソグラフィー装置で描画した自画像 (線幅: 100 nm)

k.yase@aist.go.jp