

山形大学 YU-FIC



教授
高橋 辰宏



准教授
古川 忠宏



産学連携教授
向殿 充浩



産学連携准教授
臼井 昭子



プロジェクト研究員
安部 雅則



スタッフ
鈴木 晴佳

山形大学
有機エレクトロニクスイノベーションセンター (INOEL)

連絡先:

プロジェクトリーダー 准教授 古川忠宏

ta-furukawa@yz.yamagata-u.ac.jp

〒992-0119 山形県米沢市アルカディア1-808-48

TEL 0238-29-0575

関連プログラム

- JST: 産学共創プラットフォーム共同研究推進プログラム(OPERA) (JPMOP1614)[2016年度～2020年度]
- 文部科学省: オープンイノベーション機構の整備事業「山形大学/オープンイノベーション機構」[2018年度～2022年度]

ウェブページ

- Home page: <https://inoel.yz.yamagata-u.ac.jp/yz-fic/>

関連部門

フレキシブル基盤技術研究グループ
(仲田/古川/結城/向殿 研究グループ)

山形大学 YU-FIC

YU-FICは、ザクセン・ドレスデンを中心としたドイツ側企業・研究機関と日本の企業が有機エレクトロニクス分野で連携し、新たなフレキシブルエレクトロニクス製品を創出すべく、共同研究を進めてきました。ドイツとの共同研究は2022年3月で終了し、現在は山形大学と企業で共同研究を続けています。

開発テーマ

- フレキシブル基板を用いたRoll to Roll法大面積有機EL照明製造の革新的トータル技術開発
- 有機エレクトロニクス技術を用いた広告用製品開発
- 3次元プリント配線基板(3DPiCB)の製造プロセスおよび用途開発

ドイツとの連携

YU-FICは、Organic Electronics Saxony (OES)が主催するドイツの企業や研究所と共同研究をい、年に2回相互に訪問していました。

Activity



LOPEC/Germany (Mar. 2019)



Flex Japan 2019 (May 2019)



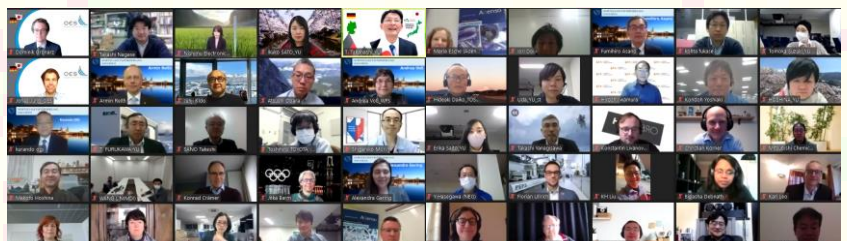
Germany (Sep. 2019)



Japan (Jan. 2020)



JFlex (Jan. 2020)



The 9th Germany-Japan Joint Workshop
“Flexible, Printed Electronics and Sensors”
February 26th 2021

German time 08:30-11:30, Japanese time 16:30-19:30 (online)

ロールtoロール(R2R)技術・印刷技術 Roll-to-roll (R2R) and Printing Technologies

蒸着技術・フォトリソグラフィ技術を軸とした従来のプロセス技術を革新する新規高生産性技術として、ロールtoロール(R2R)技術、印刷技術の開発に取り組んでいます。

Roll-to-roll (R2R)

独自ロールtoロール(R2R)装置を保有しており、印刷実験、電極形成、バリア膜形成、有機層形成などに活用できます。

- ・ロール幅: 30cm
- ・適応基板: 超薄ガラス、ステンレス箔、フレキシブルフィルム



R2Rスパッタ
& CVD
(神戸製鋼所)



R2Rスクリーン印刷
& スリットコーター
(セリア)



R2Rウェット洗浄
(FEBACS)

Printing / Coating

多様な印刷。コーティング装置及び技術を保有しています。これらの装置を活用して、様々な印刷実験、デバイス作製などが可能です。



スピコート



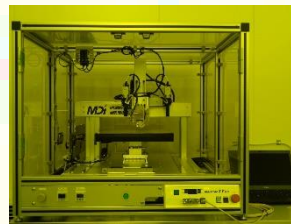
スクリーン印刷



フレキシ印刷/
グラビアオフセット印刷

Process technologies

基板カッティング装置、3D成形装置などを保有しています。



超薄板ガラス切断
装置



3D成形機

Evaluation

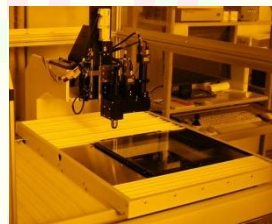
ロールtoロール技術、印刷技術の研究開発に必要な評価技術を取り揃えています。



粘弾性測定



M7 スリットコン
フォーカ顕微鏡



精密座標測定



Ca腐食測定装置



WVTR測定装置

超薄板ガラスの有機EL補強 Flexible OLEDs on Ultra-thin Glass

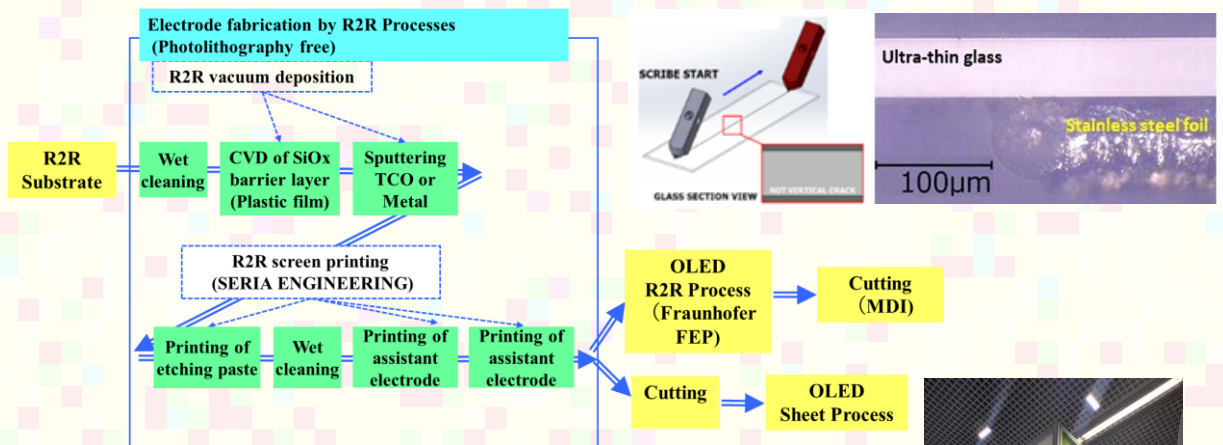
ロールtoロール(R2R)法によって超薄ガラス上に有機ELデバイスを作製する技術を開発しています。

技術の特長

- 日本電気硝子の極薄ガラスG-Leaf®を用いるメリット
 - ・50μmによる柔軟性、ロールtoロールプロセス可能
 - ・ガラスの本質的な特徴(ハイガスバリア、表面の平滑性、温度安定性、化学的安定性、サイズ安定性など)

開発した技術

- 厚さ50μmの極薄ガラス上のフレキシブル有機ELデバイス作製
 - ・フォトリソグラフィーフリーの超薄ガラス上の透明電極と補助電極のロールtoロール(R2R)による製造
 - ・超薄ガラスの取り扱い技術
 - ・超薄ガラスおよび極薄ガラスを用いた有機ELデバイス切断技術
 - ・超薄ガラスを用いた有機ELデバイスの封止技術



共同研究

Fraunhofer FEP、日本電気硝子、セリアエンジニアリング、FEBACS、三星ダイヤモンド工業、日鉄ケミカル&マテリアル、藤倉化成、タカ、tesa

主な研究発表

- T. Nakagaki, T. Kawabata, H. Takimoto, T. Furukawa, *IDW'19*, FLXp1-9L (2019). "Scribing Tool and Cutting Method for Ultra-thin Glass"
- T. Furukawa, N. Kawamura, T. Noda, Y. Hasegawa, D. Kobayashi, M. Koden, *IDW'17*, FLX6-2 (2017). "Novel Roll-to-Roll Fabrication Processes of Transparent Electrodes on Ultra-Thin Glass"
- T. Furukawa, M. Koden, *IEICE Trans. Electron*, E100-C, 949-954 (2017). "Novel roll-to-roll deposition and patterning of ITO on ultra-thin glass for flexible OLEDs"
- T. Furukawa, K. Mitsugi, S. Akiyama, H. Itoh, D. Kobayashi, T. Suzuki, H. Kuroiwa, M. Sakakibara, K. Tanaka, M. Kawamura, and M. Koden, *IDW'14*, FLX3-4 (2014). "Patterned ITO Film by Roll-to-Roll Process on Ultra-thin Glass"

超薄板ガラスを用いたフレキシブル有機EL Flexible OLEDs on Ultra-thin Glass

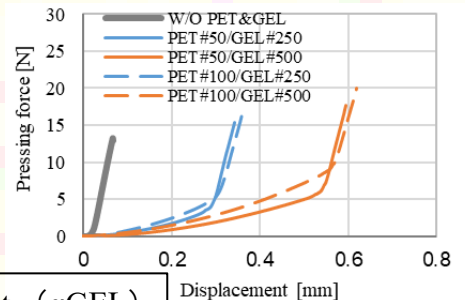
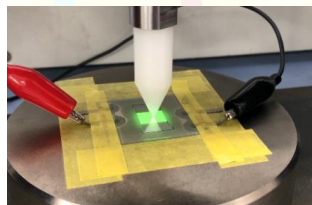
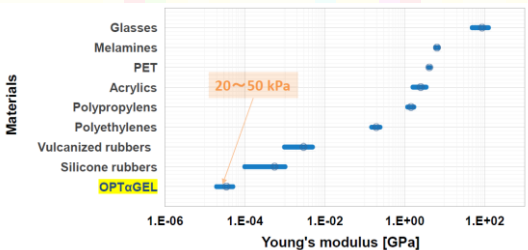
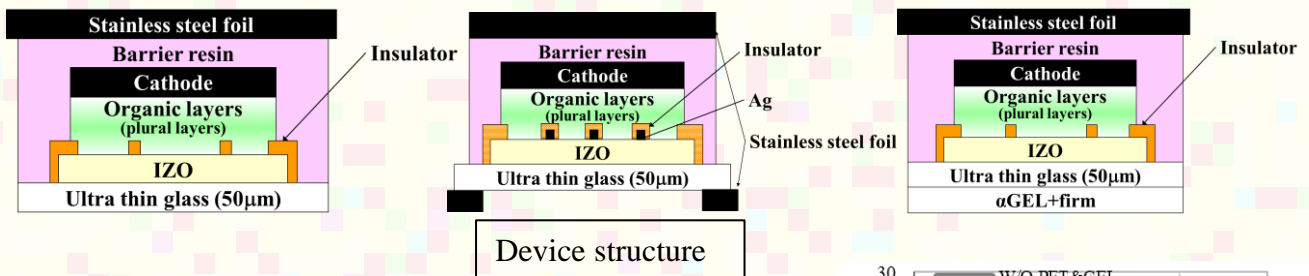
超薄ガラス上に形成した有機ELデバイスを補強する技術を開発しています。

技術の特長

- ・ガラスの本質的な特徴（ハイガスバリア、表面の平滑性、温度安定性、化学的安定性、サイズ安定性など）
- ・超薄ガラスを使った有機ELは壊れやすいが、補強により機械的耐久性が向上
- ・特殊シリコンゲルによる、インパクトストレス耐性の向上

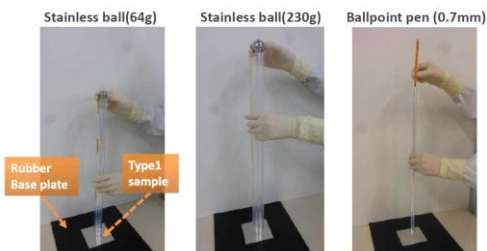
開発した技術

- 厚さ50 μm の極薄ガラス上のフレキシブル有機ELデバイスの補強
 - ・ステンレス箔封止による機械的耐性の向上
 - ・ガラス切断技術による、サイドからのクラック発生の抑制（特に曲げ耐性の向上）
 - ・特殊シリコンゲルによる、インパクトストレス耐性の向上



Young's modulus of various materials

Pressure stress test (αGEL)



Cover film / Thickness [μm]	Table Drop impact test result			
	Protection layer	Height when glass cracked [cm]		
	OPT αGEL t250 μm	Stainless ball drop		Ballpoint pen
	Needle penetration [1/10mm]	64 [g]	230 [g]	drop
-	-	60~80	20~40	10
PET / 100	-	90~100	60~80	20~50
PC / 200	-	50~60	> 100	50~70
PET / 100	130	> 100	70	50~60
PC / 200	130	> 100	90	50~70
PC / 200	90	> 100	> 100	80
PC / 200	50	> 100	100	50~60
PC / 200	25	> 100	80~90	60

Drop Impact test (αGEL)

共同研究

日本電気硝子、三星ダイヤモンド工業、日鉄ケミカル&マテリアル、タイカ、tesa

主な研究発表

- T. Furukawa, J. Hauptmann, T. Nakagaki, R. Ikeuchi, M. Sagawa, D. Nagata, J. Nakatsuka, *IDW'21*, FLX5/FMC6-1, "Roll-to-Roll Fabrication for OLED Lighting Using Ultra-Thin Glass Substrate and Encapsulating Stainless Steel Foil"
- M. Natsuka¹, Y. Ono, H. Mataka, S. Usui, H. Suzuki, M. Abe, T. Furukawa, *IDW'21*, FLX5/FMC6-1, "Protection of OLED Lighting with Ultra-Thin Glass by Special Silicone Gel"

ステンレス箔 and バリヤーフィルム

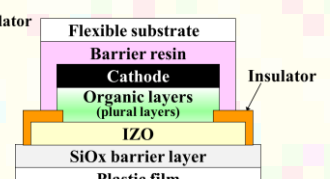
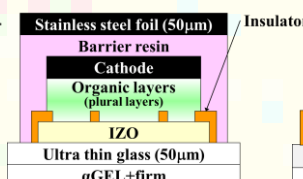
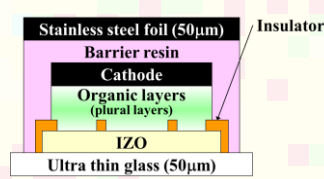
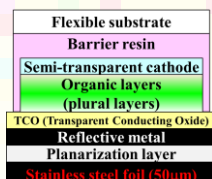
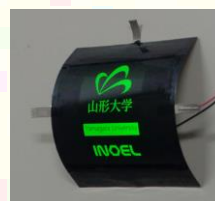
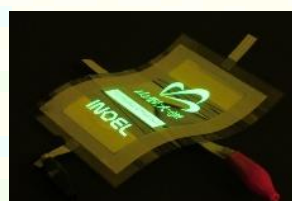
ステンレス箔とバリアフィルムを用いたフレキシブル有機ELデバイスを開発しています。

技術の特長

- ステンレス箔のメリット
 - ・厚さ: 50 μ m または 30 μ m
 - ・耐熱性、耐プロセス性に優れる
 - ・ガスバリア性
- バリアフィルム
 - ・ハイバリア性: WVTR (水蒸気透過度) が 10^{-6} g / m² / day
 - ・透明電極付きハイガスバリアフィルム

開発した技術

- ステンレス箔
 - ・ロールツーロール (R2R) かつフォトリソグラフィーフリープロセスでステンレス鋼箔上に電極 (反射陽極) を形成
 - ・ステンレス箔上へのフレキシブル有機ELデバイス作製
 - ・ステンレス箔を封止基板に用いることで、超薄ガラスに形成した有機ELデバイスの機械的耐久性向上
- バリヤーフィルム
 - ・ロールtoロール (R2R) 方式でフィルム上に単層バリア層と透明電極層を形成 (フォトリソフリー)



共同研究

帝人、日鉄ケミカル&マテリアル、日本電気硝子、三星ダイヤモンド工業
藤倉化成、tesa

主な研究発表

- Y. Hagiwara, T. Furukawa, T. Yuki, S. Yamaguchi, N. Yamada, J. Nakatsuka, M. Koden, H. Nakada, *IDW'17*, FLXp1-9L (2017). "Roll-to-Roll Patterning of Reflective Electrode on Planarized Stainless Steel Foil"
- M. Koden, T. Furukawa, T. Yuki, H. Kobayashi, H. Nakada, *IDW/AD'16*, FLX3-1 (2016). "Substrates and Non-ITO Electrodes for Flexible OLEDs"
- Y. Hagiwara, H. Itoh, T. Furukawa, H. Kobayashi, S. Yamaguchi, N. Yamada, J. Nakatsuka, M. Koden, H. Nakada, *IDW/AD'16*, FLXp1-5 (2016). "Roll-to-Roll Processing of Silver/ITO Continuous Deposition on Planarized Stainless Steel Foil"
- K. Taira, Taiga Suzuki, W. Konno, H. Chiba, H. Itoh, M. Koden, T. Takahashi, T. Furukawa, *IDW'18*, FLX2-4L (2019). "Development of High Gas Barrier Film Using Novel Precursor by Roll to Roll PECVD"
- T. Suzuki, W. Konno, K. Taira, H. Chiba, H. Itoh, M. Koden, T. Takahashi, T. Furukawa, *IDW'18*, FLXp1-10L (2019). "High Gas Barrier Films with Heterogeneous Multilayer"
- K. Taira, T. Furukawa, N. Kawamura, M. Koden, T. Takahashi, *IDW'17*, FLXp1-8L (2018). "High gas barrier film for OLED"
- T. Furukawa, N. Kawamura, M. Koden, H. Itoh, H. Kuroiwa, K. Nagai, *LOPEC* (2017). "Gas barrier film for OLED devices"

ロールtoロール(R2R)によるバリアフィルムの製造 およびバリア特性の評価

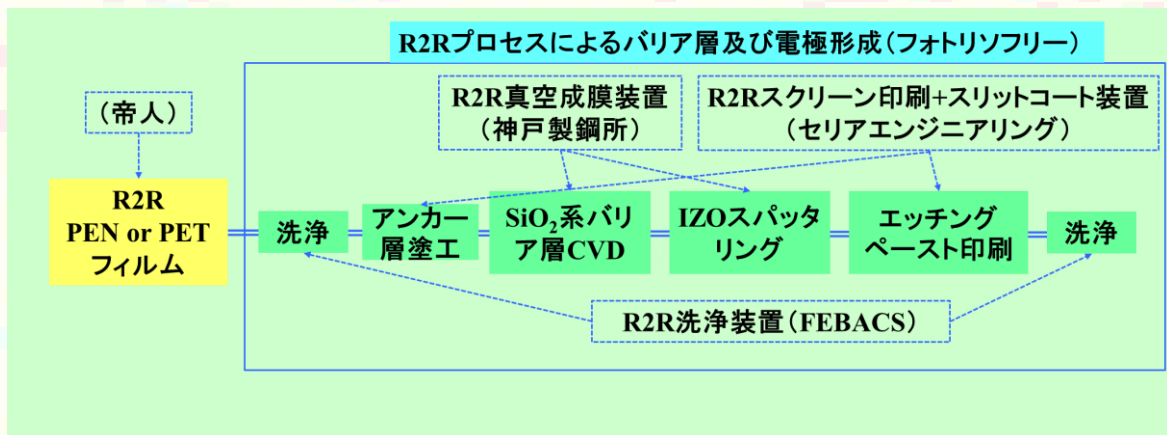
フレキシブルフィルム上にロールtoロール(R2R)PE-CVD(Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition)成膜装置でバリア層と透明導電膜を形成する技術を開発しています。高生産性技術として期待できます。

技術の特長

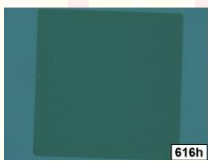
- ロールtoロール(R2R)PE-CVD方式でフィルム上に単層バリア層を形成
- 単層膜で高いバリア性: $10^{-6} \text{g/m}^2/\text{day}$ 台の水蒸気透過率(WVTR)
- 高いバリア性を有する透明電極付きガスバリアフィルムを開発
- ガスバリアーフィルムの評価技術

開発した技術

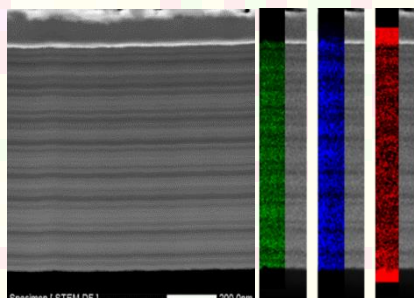
- ロールtoロール(R2R)方式でフィルム上に単層バリア層と透明電極層を形成(フォトリソフリー)



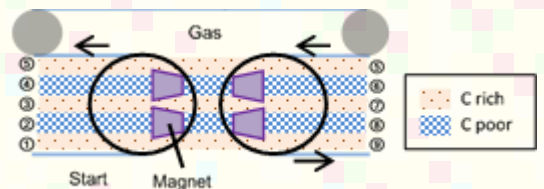
- High gas barrier property (WVTR: $6.3 \times 10^{-6} \text{g/m}^2/\text{day}$)



Ca corrosion device after 616 hours under 40°C/90%RH (Thickness of barrier layer: 720nm)



Cross section of barrier layer



CVD deposition mechanism

共同研究

帝人、東ソー、セリア、ADEKA、神戸製鋼所、FEBACS

関連プログラム

- JST: OPERA Program Grant Number JPMOP1614 [FY2016~FY2020].
- MEXT: Construction Program of Open Innovation Organization [FY2018~FY2022].

主な研究発表

- K. Taira, Taiga Suzuki, W. Konno, H Chiba, H. Itoh, M. Koden, T. Takahashi, T. Furukawa, *IDW'18*, FLX2-4L (2018), "Development of High Gas Barrier Film Using Novel Precursor by Roll to Roll PECVD"
- T. Suzuki, W. Konno, K. Taira, H Chiba, H. Itoh, M. Koden, T. Takahashi, T. Furukawa, *IDW'18*, FLXp1-10L (2018), "High Gas Barrier Films with Heterogeneous Multilayer"
- K. Taira, T. Furukawa, N. Kawamura, M. Koden, T. Takahashi, *IDW'17*, FLXp1-8L (2017). "High gas barrier film for OLED"
- T. Furukawa, N. Kawamura, M. Koden, H. Itoh, H. Kuroiwa, K. Nagai, *LOPEC* (2017), "Gas Barrier Film for OLED Devices"

バリアーフィルムに関する国際標準

SEMIの国際標準化規格の作成に貢献しています

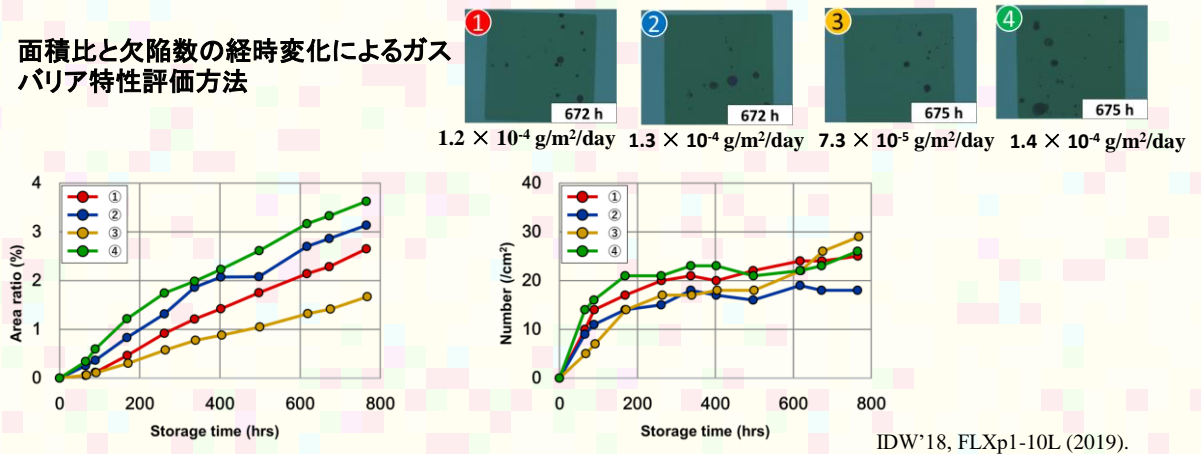
技術の特長

- SEMI規格とは、半導体やFPD産業の国際工業規格の統一を目的に定めた規格のことです。
- ここで紹介する規格はFlat Panel Display (FPD) - Materials & Components委員会で制定されました。

国際標準

SEMI D78 - Test Method of Water Vapor Barrier Property for Plastic Films with High Barrier for Electronic Devices

- 面積比と欠陥数の経時変化によるガスバリア特性評価方法



SEMI D80 - Test Method for Measurement of Water Vapor Transmission Rate for High Gas Barrier Plastic Film in a Short Time

- 質量分析計を用いたWVTRの測定方法



SEMI D74 - Guide for Measuring Dimensions of Plastic Films/Substrates

- プラスチックフィルム/基板の寸法やそりを測定するための測定手順を規定しています。

参照: <https://www.semi.org/en/products-services/standards/using-semi-standards>
<https://store-us.semi.org/collections/standards/lang-english+stdpbc-1119>

共同研究

帝人、MORESCO

関連プログラム

- JST: OPERA Program Grant Number JPMOP1614 [FY2016~FY2020].
- MEXT: Construction Program of Open Innovation Organization [FY2018~FY2022].

3次元PCBの製造プロセスおよび用途開発

3次元プリント配線基板(3DPCB)の製造プロセスおよび用途開発として、電極付き基板の3次元成形技術の研究開発を進めています。

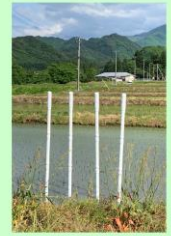
技術の特長

- 電極付きフレキシブル基板を3次元成形
- 印刷による基板製造工程の短縮

想定される用途

- 自動車のインテリア(インパネ、コンソールの照明・コントローラ等)
- 薄型IoTデバイス

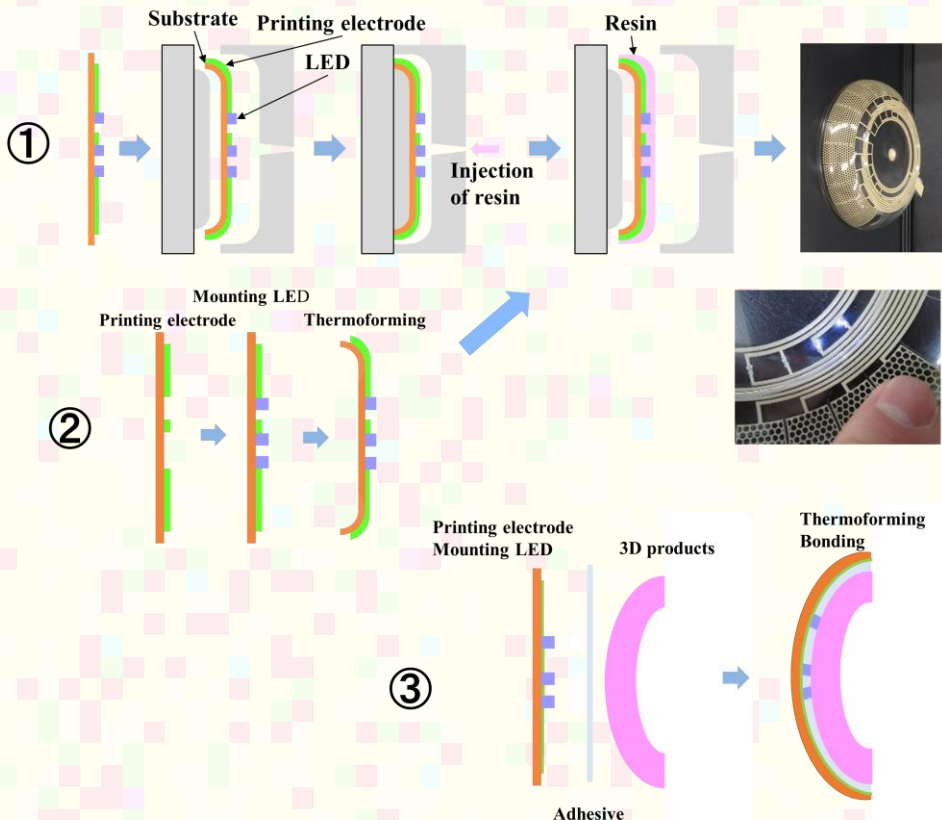
ターゲット製品



農業用センサー

開発技術

タッチスクリーンとLEDを成形品内部にモールドした三次元形状試作品



共同研究

愛和ライト、日本製鋼所、帝人、藤倉化成、ニシム電子工業

関連プログラム

- JST: 産学共創プラットフォーム共同研究推進プログラム(OPERA) (JPMOP1614)[2016年度~2020年度]
- 文部科学省: オープンイノベーション機構の整備事業「山形大学/オープンイノベーション機構」[2018年度~2022年度]

3次元熱成型における配線の断線機構

電極付き基板の3次元加工の基礎実験をしています。

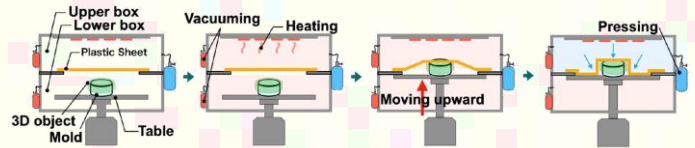
プロセス



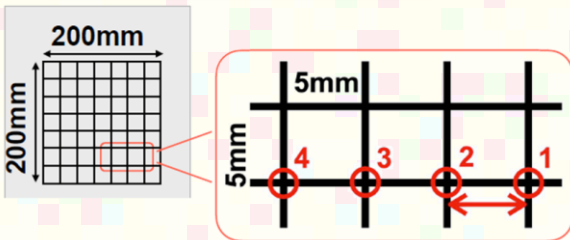
スクリーン印刷機



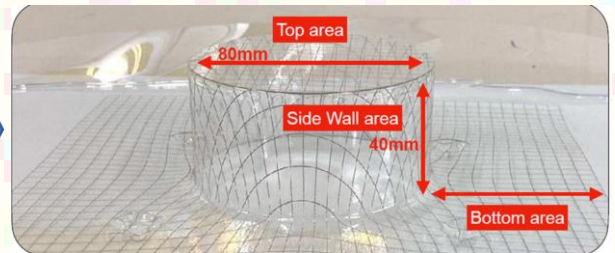
熱3次元加工機



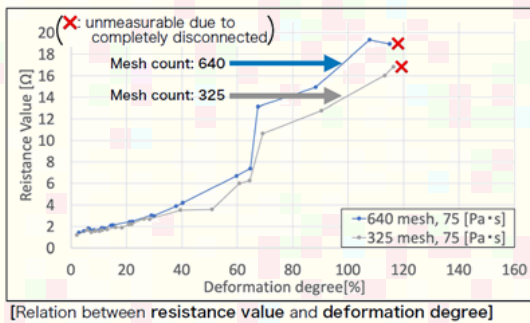
熱成型実験



プラスチックシートに導電ペースト印刷



成型加工



基板伸びと抵抗値

共同研究

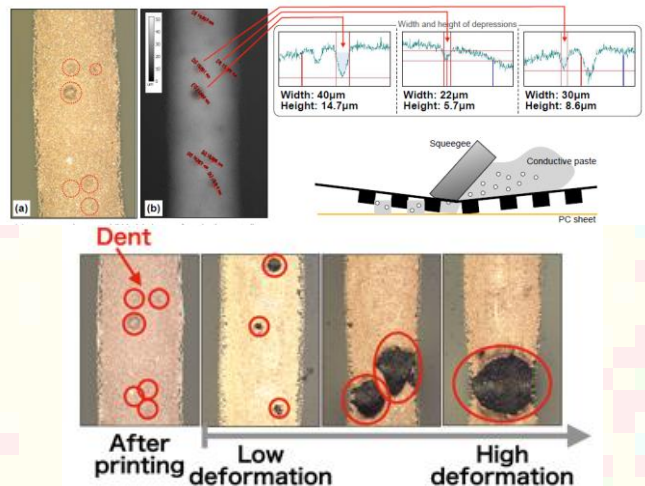
帝人、藤倉化成

関連プログラム

- JST: 産学共創プラットフォーム共同研究推進プログラム(OPERA) (JPMOP1614)[2016年度~2020年度]
- 文部科学省: オープンイノベーション機構の整備事業「山形大学/オープンイノベーション機構」[2018年度~2022年度]

主な研究発表

- Y. Kawamura, T. Takahashi, T. Furukawa, *ICFPE2021* (2021), "Improvement of printed electrodes disconnection after 3D thermoforming by optimizing print process on PC film"
- Y. Kawamura, T. Takahashi, K. Wakabayashi, H. Hirose, Y. Azakami, H. Itoh, T. Furukawa, *IDW'20, FLX3-04L* (2020). "Effect of Pressure Forming Conditions on PC Sheet integrating Electric Wiring for 3D Electronics Technology"



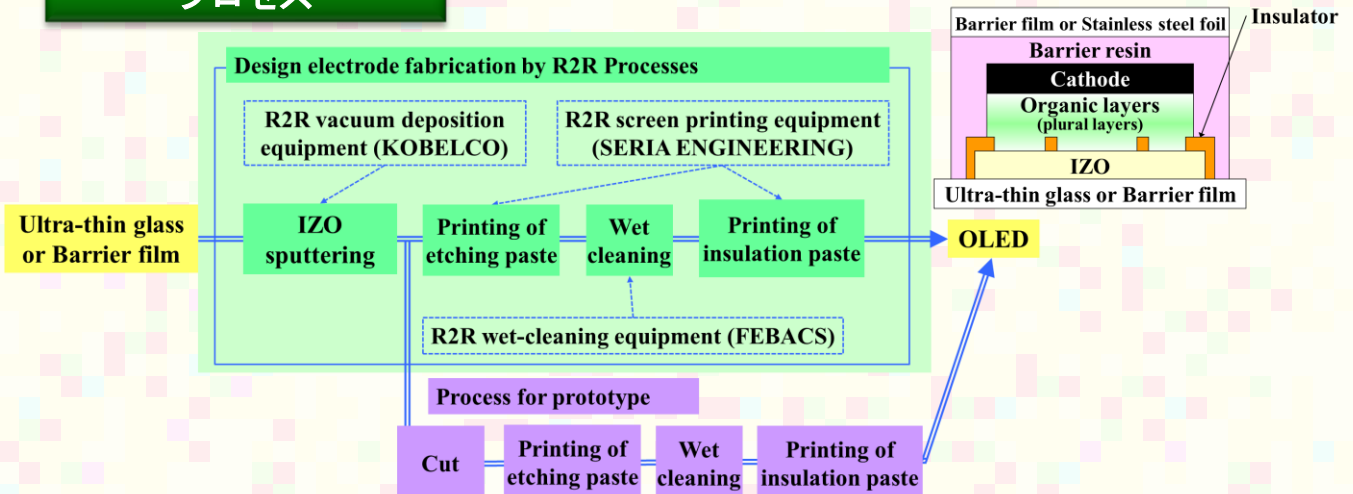
断線機構

有機ELを用いたユニークな製品

技術の特長

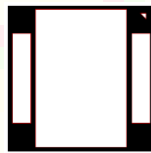
■ 有機ELを用いたユニークな製品

プロセス



透明電極エッチング (形状は共通)

透明電極を共通化することで多品種少量生産に対応可能です



デザイン印刷

スクリーンイン印刷 1露ロット100枚以上の採算に適しています
絶縁パターンのない部分が発光しますー電池の消費減

米沢の伝統工芸品とのコラボ

原方刺し子

刺し子(さしこ)とは、手芸の一分野で、布地に糸で幾何学模様等の図柄を刺繍して縫いこむことで、麻や木綿しかなかった昔、布に糸を2刺すことによって少しでも丈夫に、そして暖かという生活の知恵と、家族への愛情が作り出した手仕事のことです。

関が原合戦敗戦後、120万国から米沢30万石に減移封された上杉家とともに移り住んだ武士「原方衆」たちが半農半士を余儀なくされ、その妻たちが、着るものもままならない貧しさの中で、布に糸を刺すことでつなぎ合わせたり重ね合わせて、丈夫に長持ちするようにと刺し子を施したことが始まりです。

さしこ工房「創匠庵」 遠藤きよ子



原方刺し子(伝統工芸品)



光るネクタイ 有機EL部分-麻の葉模
麻のようにまっすぐ丈夫に育つように、多くの人と繋がって生きていけるように、との思いが込められている。

米沢のマスコットキャラクター

かねたん

「かねたん」は、2009年NHK大河ドラマ「天地人」放送決定にあわせて、主役である「直江兼続」のマスコットキャラクターとして誕生しました。忠義の象徴、犬がモチーフでチャームポイントは凛々しい眉毛。愛の前立ての兜をかぶり、きりりとした姿は戦国武将そのものです。



ペンシルケース



ぬいぐるみ



コースター

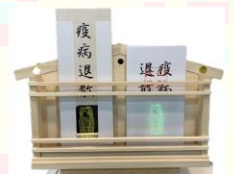
その他



葉



表札



お札

共同研究

小森、竹田印刷、タイカ

International Conference

- T. Furukawa, J. Hauptmann, T. Nakagaki, R. Ikeuchi, M. Sagawa, D. Nagata, J. Nakatsuka, *IDW'21, FLX5/FMC6-1*, "Roll-to-Roll Fabrication for OLED Lighting Using Ultra-Thin Glass Substrate and Encapsulating Stainless Steel Foil"
- M. Natsuka1, Y. Ono, H. Mataka, S. Usui, H. Suzuki, M. Abe, T. Furukawa, *IDW'21, FLX5/FMC6-1*, "Protection of OLED Lighting with Ultra-Thin Glass by Special Silicone Gel"
- Y. Kawamura, T. Takahashi, T. Furukawa, *ICFPE2021* (2021), "Improvement of printed electrodes disconnection after 3D thermoforming by optimizing print process on PC film"
- Y. Kawamura, T. Takahashi, K. Wakabayashi, H. Hirose, Y. Azakami, H. Itoh, T. Furukawa, *IDW'20, FLX3-04L* (2020). "Effect of Pressure Forming Conditions on PC Sheet integrating Electric Wiring for 3D Electronics Technology"
- T. Nakagaki, T. Kawabata, H. Takimoto, T. Furukawa, *IDW'19, FLXp1-9L* (2019). "Scribing Tool and Cutting Method for Ultra-thin Glass"
- T. Furukawa, M. Koden, *ICDT2019* (2019). "Novel R2R and Printing Technologies for Electrodes of Flexible OLED Lighting"
- K. Taira, Taiga Suzuki, W. Konno, H Chiba, H. Itoh, M. Koden, T. Takahashi, T. Furukawa, *IDW'18, FLX2-4L* (2018). "Development of High Gas Barrier Film Using Novel Precursor by Roll to Roll PECVD"
- T. Furukawa, *Advanced Materials-2018 (WCAM2018)* (2018). [\[Invited\]](#)
"Substrates for Organic Electronics - Ultra-thin Glass, Stainless Steel Foil and High Gas Barrier Plastic Film"
- M. Koden, T. Furukawa, T. Yuki, H. Nakada, *LS16* (2018). [\[Invited\]](#)
"Roll-to-roll and printing technologies for electrodes of flexible OLED lighting"
- T. Furukawa, N. Kawamura, T. Noda, Y. Hasegawa, D. Kobayashi, M. Koden, *IDW'17, FLX6-2* (2017). "Novel Roll-to-Roll Fabrication Processes of Transparent Electrodes on Ultra-Thin Glass"
- T. Furukawa, N. Kawamura, M. Koden, H. Itoh, H. Kuroiwa, K. Nagai, *LOPEC* (2017). "Gas barrier film for OLED devices"
- M. Koden, T. Furukawa, T. Yuki, H. Kobayashi, H. Nakada, *IDW/AD'16, FLX3-1* (2016). [\[Invited\]](#)
"Substrates and Non-ITO Electrodes for Flexible OLEDs"
- T. Furukawa, M. Sakakibara, N. Kawamura, M. Koden, *IDW/AD'16, FLX3-3* (2016). "All-printed non-ITO Transparent Electrodes on Ultra-thin Glass for OLED Lighting"
- T. Furukawa, *IWFPE2016* (2016). [\[Invited\]](#)
"Flexible Substrates and Printed Transparent Electrode for OLED Lighting"
- T. Furukawa, N. Kawamura, H. Nakada, M. Koden, *The International Conference on Flexible and Printed Electronics (ICFPE 2016)*, O15-6 (2016). "Novel ITO fabrication processes on ultra-thin glass"
- M. Koden, *15th International Symposium on the Science and Technology of Lighting (LS15)* (2016). [\[Invited\]](#)
"Substrates and non-ITO electrodes for flexible OLED Lightings"
- T. Furukawa, *2016 International Conference on Electronics Packaging (ICEP2016)* (2016). [\[Invited\]](#)
"Printing Technology for Electronics"
- M. Koden, *The 10th Taiwan Solid State Lighting (2016 tSSL) Symposium*, B-4 (2016). [\[Invited\]](#)
"Flexible OLED Lighting"
- T. Furukawa, N. Kawamura, M. Sakakibara, M. Koden, *Proc. of IDMC*, S4-4 (2015). (Taiwan) [\[Invited\]](#)
"Printed Transparent Electrode for OLED Lighting Devices"
- M. Koden, *The Twenty-second International Workshop on Active-matrix Flatpanel Displays and Devices (AM-FPD 15)*, 2-1 (2015). [\[Invited\]](#)
- T. Furukawa, N. Kawamura, J. Inoue, H. Nakada, M. Koden, *SID 2015*, P-57 (2015). (USA), "OLED lighting devices fabricated by flexography printing of silver nanowire and conducting polymer"
- T. Furukawa, S. Tokito, *SID 2015*, 4.4(2015).(USA), "Dimension Control of CF Fabricated by Transfer Method"
- H. Tamagaki, K. Tanaka, K. Oishi, T. Furukawa, *Society of Vacuum Coaters Technical Conference* (2015). (USA), "Roll-to-roll Vacuum Coating System for Development of Flexible Substrates for OLED Lighting"
- T. Furukawa, M. Koden, *Large-area, Organic & Printed Electronics Convention (LOPEC)*, P3.3 (2015). "Flexographic Printing Technology for Silver Nanowire"
- T. Furukawa, K. Mitsugi, H. Itoh, D. Kobayashi, T. Suzuki, H. Kuroiwa, M. Sakakibara, K. Tanaka, N. Kawamura, M. Koden, *IDW'14, FLX3-4L* (2014). "Patterned ITO Film by Roll-to-Roll Process on Ultra-thin Glass"
- D. Kobayashi, N. Naoi, T. Suzuki, T. Sasaki, T. Furukawa, *IDW'14, FLX3-1* (2014). [\[Invited\]](#)
"Novel Roll-to-Roll Screen Printing Machine for Flexible Devices"
- M. Koden, H. Kobayashi, T. Moriya, N. Kawamura, T. Furukawa, H. Nakada, *IDW'14, FMC6/FLX6-1* (2014). [\[Invited\]](#), "Flexible Substrates and Alternative Electrodes of ITO for OLED Lighting"