

Jasmin Wörle und Henning Rost

# Unsichtbare Helfer

Leitfähige Folien



**Poly IC**  
The chip printers

PolyIC GmbH & Co. KG  
Tucherstr. 2  
D - 90763 Fuerth  
Germany  
Phone: +49 911 202 49 0  
Fax: +49 911 202 49 8001  
Email: [info@polyic.com](mailto:info@polyic.com)  
Website: [www.polyic.com](http://www.polyic.com)

Sonderdruck



Gedruckte elektronische Schaltungsträger lassen sich wirtschaftlich nach dem „Rolle-zu-Rolle“-Prinzip herstellen

**Leitfähige Folien.** Anwendungen wie Displays, Touchsensoren oder auch ultradünne Heizelemente beinhalten flexible und optisch transparente Folien, die über eine Beschichtung mit möglichst hoher elektrischer Leitfähigkeit verfügen. Das leitfähige Material, heute

überwiegend ITO (Indium-Zinn-Oxid), muss vor seinem Einsatz meist aufwendig strukturiert werden. Ein neu entwickeltes Verfahren bietet hierzu eine wirtschaftliche Alternative mit verbesserten Gebrauchseigenschaften.

# Unsichtbare Helfer

**JASMIN WÖRLE  
HENNING ROST**

Unter gedruckter Elektronik (**Titelbild**) versteht man ganz allgemein elektronische Bauelemente oder Baugruppen, die vollständig oder teilweise mittels Druckverfahren hergestellt werden. Anstelle der Druckfarben werden hierbei elektronische Funktionsmaterialien, meist auf Basis spezieller Kunststoffe, verwendet [1]. Durch Einsatz moderner und hochvolumiger Druckverfahren reduzieren sich die Herstellungskosten erheblich. Das Bedrucken großflächiger und flexibler Substrate sowie die Nutzung neuartiger Funktionsmaterialien erlauben die Erschließung von Anwendungsfeldern für die Elektronik, die der konventionellen (anorganischen) Elektronik bisher nicht oder nur eingeschränkt zugänglich waren. Dank gedruckter Elektronik zeichnen sich neue Entwicklungen ab, beispielsweise in Anwendungen wie Funketiketten [2], Displays und Solarzellen.

**ARTIKEL ALS PDF** unter [www.kunststoffe.de](http://www.kunststoffe.de)  
Dokumenten-Nummer KU110369

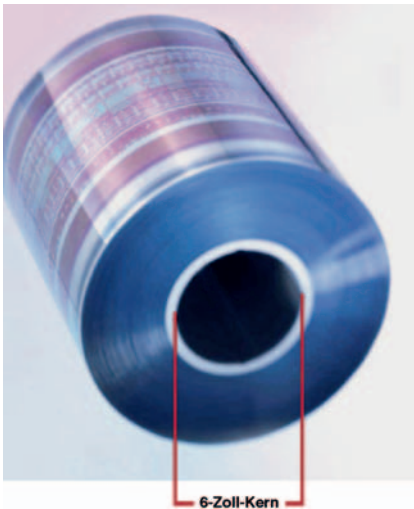
Die PolyIC GmbH & Co. KG, ein Joint Venture der Siemens AG und der Leonhard Kurz Stiftung & Co. KG mit Sitz in Fürth (Bayern), ist führend in der Entwicklung gedruckter Elektronik. Das Prinzip besteht darin, dass mithilfe von Druckprozessen elektrisch leitfähige, halbleitende und auch isolierende Materialien in mehreren Schichten übereinander auf eine Polyester-Folie (Basis überwiegend Polyethylenterephthalat, PET) aufgebracht werden. Der Druck erfolgt nach einem genau vorgegebenen Design, sodass hierdurch elektrische Bauelemente und Schaltungen erzeugt werden können. Diese Bausteine werden dann beispielsweise in RFID (Radio Frequenz Identifikations)-Tags eingesetzt. Die gedruckte Elektronik ermöglicht hier preiswerte RFID-Tags (Funketiketten) für neue Massenanwendungen. Die neue Technologie findet darüber hinaus in Displayelementen und komplexen Systemen, auch Smart Objects genannt, ihre Anwendung.

Gedruckte RFID-Tags bestehen aus einer Kombination von unterschiedlichen Einzelbauteilen. Der große Vorteil der neu

entwickelten Technologie zur Herstellung von gedruckten RFID-Tags liegt darin, dass sich alle für integrierte Schaltungen notwendigen Bauelemente durch den gleichen Schichtaufbau realisieren lassen. Die Herstellung aller Komponenten des RFID-Tags ist somit nach dem Prinzip „Rolle-zu-Rolle“ auf einem flexiblen Substrat möglich und erfordert nur wenige Druckschritte. Auf dieser Basis können kostengünstige Produkte in Massenproduktion dargestellt werden. Für eine erfolgreiche Entwicklung „Rolle-zu-Rolle“ gedruckter Elektronik sind in den Bereichen Material, Prozess, Design und Test zahlreiche Anforderungen zu erfüllen. Alle eingesetzten Materialien müssen eine ausreichende Funktionalität in Kombination mit einer langfristig gesicherten Ver-

## **i** Kontakt

**PolyIC GmbH & Co. KG**  
D-90763 Fürth  
Tel. +49 911 20249-0  
→ [www.polyic.com](http://www.polyic.com)



**Bild 1.** Im „Rolle-zu-Rolle“-Prozess gedruckte Produktionsrolle

füßbarkeit in großem Maßstab (Kilogramm-Maßstab) zu niedrigen Preisen aufweisen.

Für die Auswahl geeigneter Prozesse ist die Produktionsgeschwindigkeit ein wichtiger Parameter, der Hand in Hand mit niedrigen Trocknungstemperaturen und kurzen Trockenzeiten gehen muss. Des Weiteren können nur solche Materialien und Lösemittel in diesen Prozessen verwendet werden, die weder giftig noch explosiv sind.

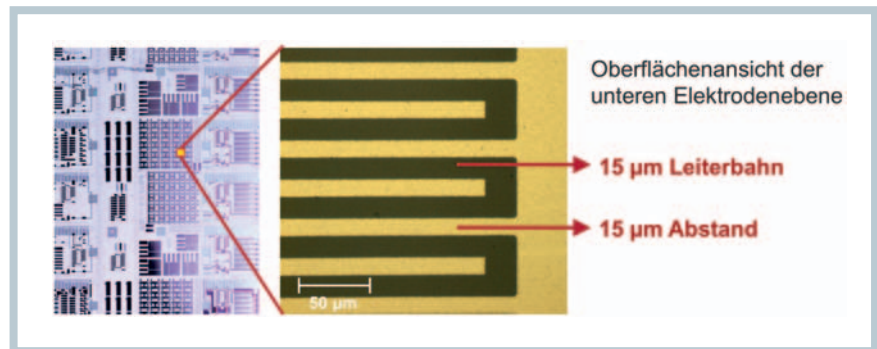
### Der „Rolle-zu-Rolle“-Prozess

Die Prozessparameter einer gedruckten Produktionsrolle zeigen **Tabelle 1** und **Bild 1**. Vor allem die hohe Produktionsgeschwindigkeit von  $> 30$  m/min sowie die Möglichkeit, große Produkt-Stückzahlen durch die verwendeten Druckverfahren zu erzeugen, sind notwendig, um den Markt der gedruckten Elektronik – vor allem im Bereich RFID – zu bedienen.

Voraussetzung für die Entwicklung von RFID-Tags sind organische Feldeffekttransistoren (OFETs) mit hoher Funktionalität, die insbesondere durch eine hohe Auflösung, d. h. kleine Strukturgrößen der unteren Elektrodenoberfläche (Source- und Drain-Elektroden), beeinflusst werden kann. PolyIC ist es in den letzten Jahren gelungen, einen Produktionsprozess zur Herstellung von Elektroden zu entwickeln. Dadurch wird die Herstellung hochauflöser dünner Leiterbahnen durch einen „Rolle-zu-Rolle“-Produktionsprozess in großem Maßstab möglich (**Bild 2**). Diese Technologie zur Herstellung leitfähiger Schichten auf PET-Substraten stellt ebenfalls eine Alternative zur bisher eingesetzten ITO (Indium Tin Oxide)-

Prozessdetails	
Typische Rollenlänge	2–5 km
Druckgeschwindigkeit	$>30$ m/min
Substratdicke	50 $\mu\text{m}$
Metallschichtdicke	20–80 nm
Polymerschichtdicke	50–500 nm
Gewicht einer Rolle	50–200 kg
Fläche pro Rolle	1000–3000 $\text{m}^2$
Entwicklungskapazität	1 Rolle/Woche
Produktionskapazität	viel mehr ...

**Tabelle 1.** Prozessparameter eines „Rolle-zu-Rolle“-Prozesses



**Bild 2.** Ergebnisse aus dem Produktionsprozess der PolyIC: Strukturen mit hoher Auflösung auf flexiblem Substrat

Technologie dar. Durch Herstellung hochauflöser Strukturen im  $\mu\text{m}$ -Maßstab auf dünnen flexiblen PET-Folien (die typische Auflösung liegt bei  $15 \mu\text{m}$ ) kann neben einer ausreichenden Leitfähigkeit auch eine ausreichende Transparenz der Schichten erreicht werden.

Die Festlegung von Transparenz und Leitfähigkeit kann kundenspezifisch durch unterschiedliche Belegung der Fläche (Breite und Dichte der leitfähigen Struk-

turen pro Quadratmeter PET-Folie) mit leitfähigem Material eingestellt werden. Als leitfähiges Material kommen Metalle zum Einsatz, die je nach Anwendung über die gesamte Folienlänge und -breite oder in Form einer Bebilderung als individuelles Layout aufgebracht werden können. **Bild 3** zeigt beispielhaft ein Layoutmuster für eine transparente, leitfähige Beschichtung.

### Folien wirtschaftlicher beschichten

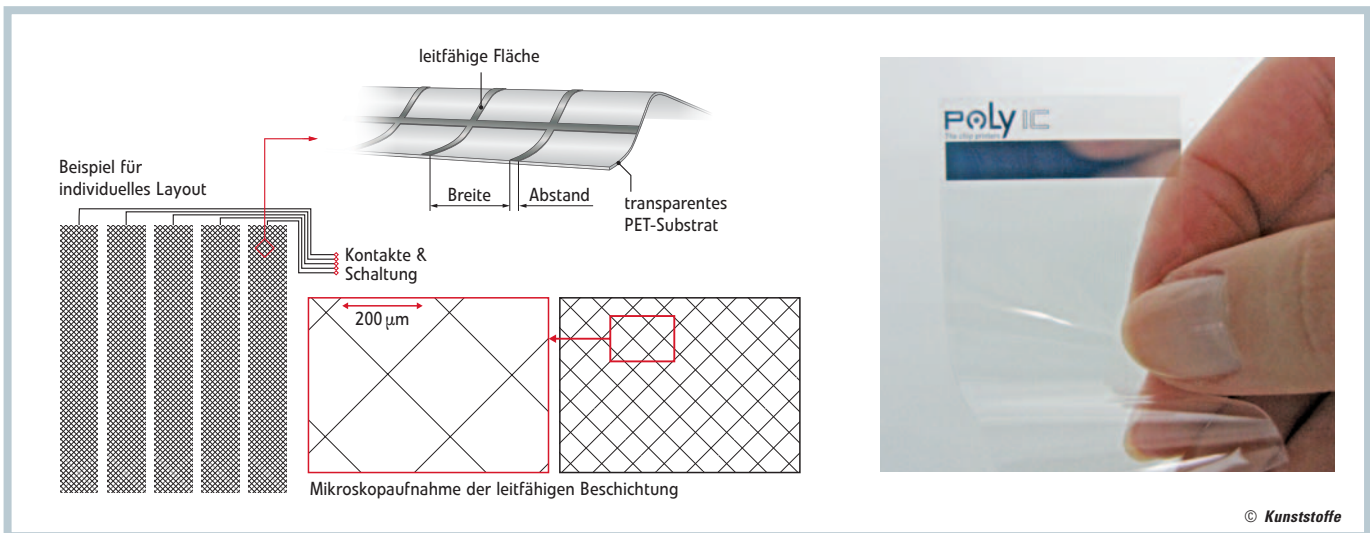
Mit Blick auf die Ressourcenknappheit, besonders hinsichtlich der weltweiten Indium-Vorkommen, wird die Entwicklung neuer Technologien zur Herstellung von leitfähigen Schichten immer dringender. Zahlreiche Forschungs- und Entwick-

### ! Indium-Zinn-Oxid (ITO)

Indium-Zinn-Oxid (ITO) ist im sichtbaren Bereich transparent und gleichzeitig elektrisch leitend. Es eignet sich zur Vermeidung statischer Aufladungen, dient als Heizwiderstand, lässt sich nutzen zur Kontaktierung elektrischer Panels und reflektiert Infrarot-Strahlung. Charakterisiert wird die Schicht durch den Widerstand pro quadratische Fläche (Ohm/sq). Die sich daraus ergebende Schichtdicke bestimmt das optische Verhalten. ITO ist als hochbrechendes Material hochreflektiv. Zusätzliche Anpassungsschichten können die Reflexion reduzieren.

lungseinrichtungen suchen nach Alternativen. Neben unterschiedlichen Projekten im Bereich neuer anorganischer Materialien wie Zinkoxid (ZnO) und Kohlenstoffnanoröhrchen (CNT; Carbon Nanotubes) setzen außerdem zahlreiche Firmen auf die Entwicklung neuer Polymere als druckbaren Ersatz für ITO-Beschichtungen. Der breiten Öffentlichkeit sind Polymere als nichtleitende Verbindungen bekannt. Allerdings existiert eine spezielle Klasse von Polymeren, die intrinsisch leitenden Polymere, deren Leitfähigkeit zwischen Halbleiter und Metall, d. h. im Bereich von  $10^2$  bis  $10^3$  S/cm liegt [3]. Ein Beispiel für ein intrinsisch leitendes Polymersystem ist das System PEDOT/PSS (Poly(3,4-ethylenedioxythiophen)/Polystyrol-sulfonat).

Im Vergleich zu diesen alternativen Materialsystemen bietet die neu entwickelte Technologie von PolyIC zur Herstellung transparenter und leitfähiger Schichten auf Folien wesentliche Vorteile hinsichtlich Transparenz und Leitfähigkeit (**Bild 4**). Die Grafik verdeutlicht, dass das Produkt



**Bild 3. Layoutmuster für eine transparente, leitfähige Beschichtung: Details eines individuellen Layouts (links), Muster (rechts)**

von PolyIC als Alternative zu einer ITO-Beschichtung in Frage kommen kann. **Tabelle 2** stellt die signifikanten, technischen Parameter der Folien mit leitfähiger Beschichtung zusammen.

Wie bereits erwähnt, sollen aktuell verwendete, mit ITO beschichtete Folien durch eine neu entwickelte Alternative ersetzt werden. In Frage kommen transpa-

rente Folienträger (vorzugsweise PET) mit hoch aufgelösten, leitfähigen Strukturen. Die leitfähigen Strukturen, die von PolyIC entwickelt wurden, besitzen eine Auflösung von 15  $\mu\text{m}$ . Sie müssen an sich nicht transparent sein, da die notwendige Lichtdurchlässigkeit durch die hoch aufgelöste Strukturierung erreicht wird. Das bedeutet, dass die leitfähige Struktur

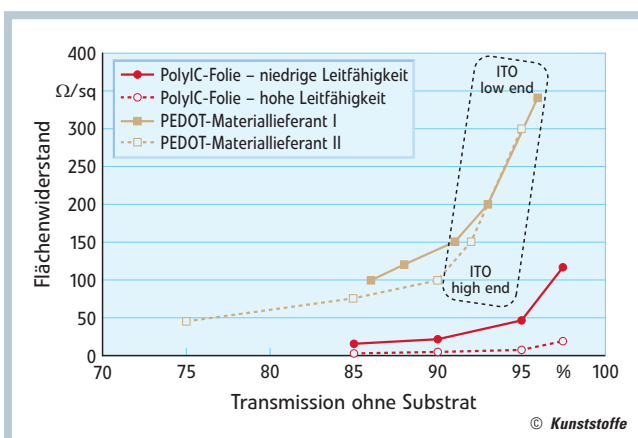
nur einen Bruchteil der Fläche ( $< 10\%$ ) belegt. Somit können auch lichtundurchlässige, jedoch hochleitfähige Materialien wie Silber oder Kupfer verwendet werden. Durch gezieltes Einstellen der Prozessparameter können mit den eingesetzten leitfähigen Materialien Flächenwiderstände von 0,4 bis 1 Ohm/sq erzielt werden. Die Leitfähigkeit der transparenten Fläche ist somit individuell z. B. auf typische Werte von ITO-Folien einstellbar. Vor allem die über einen weiten Wellenlängenbereich gleich bleibende hohe Transparenz zeigt sich als weiterer Vorteil dieser neuen Technologie. **Bild 5** stellt die wellenlängenabhängige Transparenz der leitfähigen Schichten der PolyIC-Folie im Vergleich zum verwendeten Substrat und kommerziell erhältlicher, mit ITO beschichteter Folie dar.

Verglichen mit herkömmlichen ITO-Folien zeigen die leitfähigen, transparenten Strukturen der PolyIC Vorteile, wie

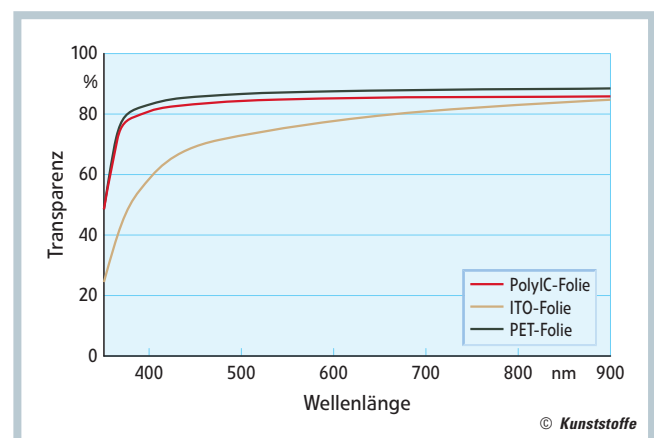
- kundenspezifisches und individuelles Layout herstellbar,

Eigenschaften		Typische Werte
Transparenz (zwischen 400–800 nm Wellenlänge)		hohe Transparenz über gesamten Wellenlängenbereich
Glanz [60°]		90–120%
Widerstand des Leiters		einstellbar zwischen 0,4–1 Ohm/sq
minimale Strukturgröße	Leiterbahnbreite	min. 15 $\mu\text{m}$
	Leiterbahnabstand	min. 15 $\mu\text{m}$
Filmdicke (hauptsächlich Substrat)		36–100 $\mu\text{m}$
Substrat		PET
leitfähiges Material		Metalle (Ag, Cu)
Lieferform		Rolle

**Tabelle 2. Signifikante, technische Parameter der Folien mit leitfähiger Beschichtung von PolyIC**



**Bild 4. PolyIC-Technologie: Transparenz und Leitfähigkeit im Vergleich zu alternativen Materialien**



**Bild 5. Transparenz der leitfähigen Beschichtung von PolyIC im Vergleich zu ITO-Folien**

- kostenaufwendige Strukturierungsverfahren entfallen,
- hohe Transparenz über einen breiten Wellenlängenbereich von 400 bis 800 nm,
- individuelle Leitfähigkeit sowie individueller Flächenwiderstand,
- Verwendung von dünnen, leichten und flexiblen PET-Substraten sowie
- kostengünstiges Produkt durch „Rolle-zu-Rolle“-Massenproduktion.

**LITERATUR**

- 1 Rost, H.: Von der Rolle. Kunststoffe 97 (2007) 5, S. 97–101
- 2 Rost, H. u. a.: Auf dem Weg zur gedruckten Elektronik. Kunststoffe 98 (2008) 6, S. 108–113
- 3 Rost, H.: Vom Polymer-Transistor zur gedruckten Elektronik. Kunststoffe 95 (2005) 10, S. 209–214

**DIE AUTOREN**

DR. JASMIN WÖRLE, geb. 1975, arbeitet als Gruppenleiterin bei der PolyIC GmbH & Co. KG, Fürth.

DR. HENNING ROST, geb. 1966, ist bei PolyIC als Projektleiter tätig.

**! Polyethylendioxythiophen (PEDOT)**

Polythiophene gehören aufgrund ihrer Struktur zu den elektrisch halbleitenden Polymeren. Diese können durch Oxidation in die elektrisch leitfähige Form umgewandelt werden. Ein wichtiges Polythiophen-Derivat ist Polyethylendioxythiophen (PEDOT). Dünne Filme der dotierten, also oxidierten Form (PEDOT/PSS), zeichnen sich durch hohe thermische, photochemische und hydrolytische Stabilität sowie durch Transparenz im sichtbaren Bereich des Spektrums aus. In organischen Leuchtdioden wird PEDOT/PSS als Anoden-Beschichtung verwendet.

Leitfähige bzw. antistatische transparente Beschichtungen für die verschiedensten Zwecke lassen sich folgendermaßen herstellen: Eine Suspension des Polymers als Gelpartikel in Wasser mit Polystyrolsulfonat (PSS) als Dotierungsmittel wird auf das Substrat aufgetragen. Bei der physikalischen Trocknung erfolgt die Filmbildung.

**Fazit**

Sowohl der Kostenfaktor als auch weltweit knappe ITO-Vorkommen erfordern neue Technologien, um der Nachfrage eines ständig wachsenden Marktes – vor allem bei Displays und Touchscreens – gerecht zu werden. Durch Einsatz eines „Rolle-zu-Rolle“-Massenproduktionsprozesses können leitfähige Folien in großen Mengen hergestellt werden und sind dadurch kostengünstiger als die bisher genutzten ITO-Folien. Die von PolyIC neu entwickelte Technologie für transparente leitfähige Schichten kommt somit als attraktive Alternative für ITO-Folien in Betracht. ■

**SUMMARY**

**INVISIBLE HELPERS**

CONDUCTIVE FILMS. Applications such as displays, touch sensors and ultrathin heating elements contain flexible, optically transparent films with highly electrically conductive coatings. The conductive material normally used for these coatings today is ITO (indium-tin-oxide). However, this material has to be patterned before use in what is generally a time-consuming and costly process. A newly developed process now offers an economic alternative with better functional characteristics.

*Read the complete article in our magazine **Kunststoffe international** and on [www.kunststoffe-international.com](http://www.kunststoffe-international.com)*