

Henning Rost und Wolfgang Mildner

Auf dem Weg zur gedruckten Elektronik

Neueste Fortschritte



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
Website: www.polyic.com

Sonderdruck



Ein PolyLogo beinhaltet neben logischen Schaltkreisen auch andere elektronische Komponenten wie Displays, Sensoren und Batterien

(alle Quellen und Fotos: PolyIC)

Auf dem Weg zur gedruckten Elektronik

Neueste Fortschritte. Gedruckte Elektronik basiert auf halbleitenden und elektrisch leitfähigen Kunststoffen und kann mit Druckmaschinen schnell und in hohen Stückzahlen hergestellt werden. Durch die damit erzielten Kosten- und Preisstrukturen werden völlig neue Märkte entstehen, wobei kostengünstige Funketiketten (RFID-Tags) ein wesentlicher Treiber für diese Technologie sind.

**HENNING ROST
WOLFGANG MILDNER**

Die herkömmliche, auf Siliziumelektronik basierende RFID-Technik (Radio Frequency Identification) ist bekanntermaßen schon seit einigen Jahren etabliert, erfährt aber in der letzten Zeit einen enormen Anstieg des Interesses durch den Einsatz in der Supply Chain (Lieferkette) von Konsumgütern. Aber auch andere Anwendungen, z. B. in den Bereichen Automatisierung, Markenschutz und Identifizierung, können durch den Einsatz von RFID-Technologie optimiert werden. Im täglichen Leben kommt der Verbraucher auch heute schon mit vielen RFID-Anwendungen in Kontakt, vom kontaktlosen Skipass, über den Firmenausweis mit Zugangskontrolle bis zur Zeitmessung bei Sportveranstaltungen.

Mit gedruckter Elektronik werden die Anwendungsbereiche der RFID-Technologie auf preissensitive Massenmärkte ausgeweitet, wie etwa Verpackung von Konsumgütern, elektronischer Markenschutz, einfache Identifikation, elektroni-

sche Tickets und vieles mehr. Als Ziel visiert die PolyIC GmbH & Co. KG, Fürth, hierbei den elektronischen Product Code (EPC) an, der als Funketikett den optischen Barcode auf den Gütern im Supermarkt ersetzen wird. So ist PolyIC bereits jetzt Mitglied der EPCglobal – einer globalen Organisation zur RFID-Standardisierung.

Es ist also absehbar, dass die Vision des Funketiketts auf dem Joghurtbecher durch Elektronik zur Realität werden

kann. Ziel kann es hierbei nicht sein, die konventionelle Silizium-Elektronik zu verdrängen, sondern es geht vielmehr darum, neue Märkte anzugehen, bei denen niedrige Preise und hohe Volumina wichtiger sind als höchste technische Anforderungen. Somit werden gedruckte und konventionelle Elektronik auf absehbare Zeit gemeinsam existieren, allerdings in unterschiedlichen Märkten.

Der Markt für gedruckte Elektronik ist mittlerweile eröffnet. Wie bereits an-

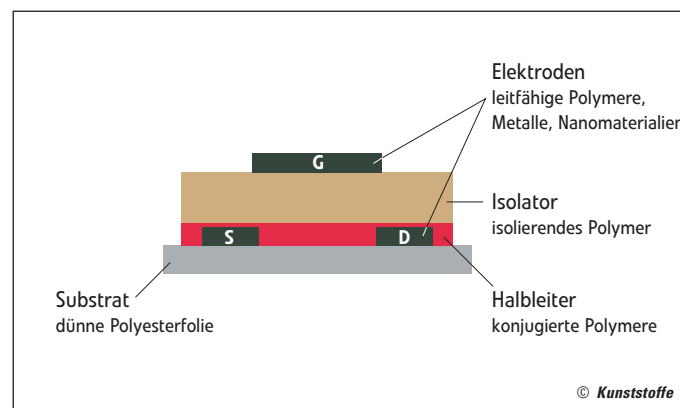


Bild 1. Aufbau eines Polymer-Feldeffekt-Transistors (PFET)

© Kunststoffe

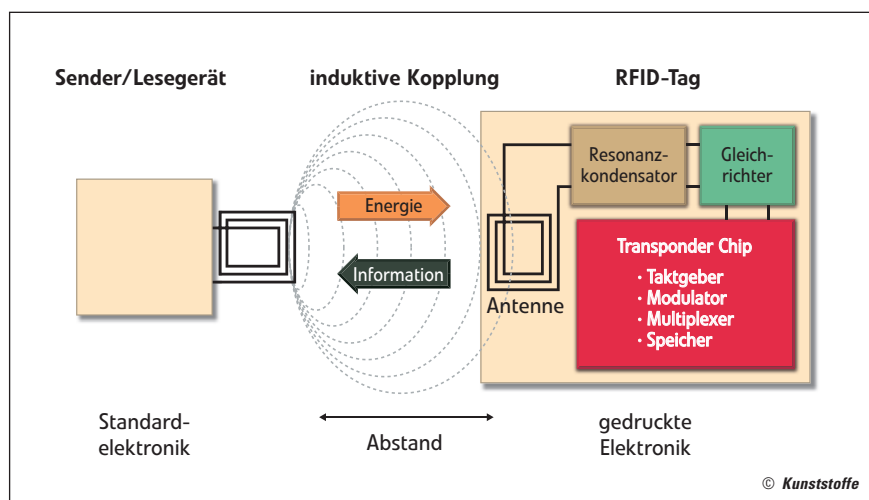


Bild 2. Grundbausteine eines Funketiketts (RFID-Tag)

gekündigt [1] konnte PolyIC die ersten Produkte im letzten Jahr auf der Konferenz für organische Elektronik „Organic Electronics Conference (OEC) 2007“ in Frankfurt präsentieren. Das Unternehmen präsentierte dort den weltweit ersten Rolle-zu-Rolle-gedruckten 13,56 MHz-RFID-Tag. Des Weiteren wurden zwei neue Produktlinien vorgestellt: eine im Bereich gedruckter RFID-Tags, mit dem Markennamen PolyID und eine zweite im Bereich Smart Objects mit dem Markennamen PolyLogo. Diese ersten gedruckten Produkte sollen völlig andere Marktsegmente als herkömmliche RFID-Tags erreichen. Derzeit testet PolyIC mit verschiedenen Pilotkunden bereits die diversen Einsatzmöglichkeiten für erste Produkte, die in der Linie PolyID von der Anwesenheitserkennung bis 4 Bit-Speicherkapazität bieten und in der Ausführung PolyLogo sogar eine Anzeigefunktion ha-

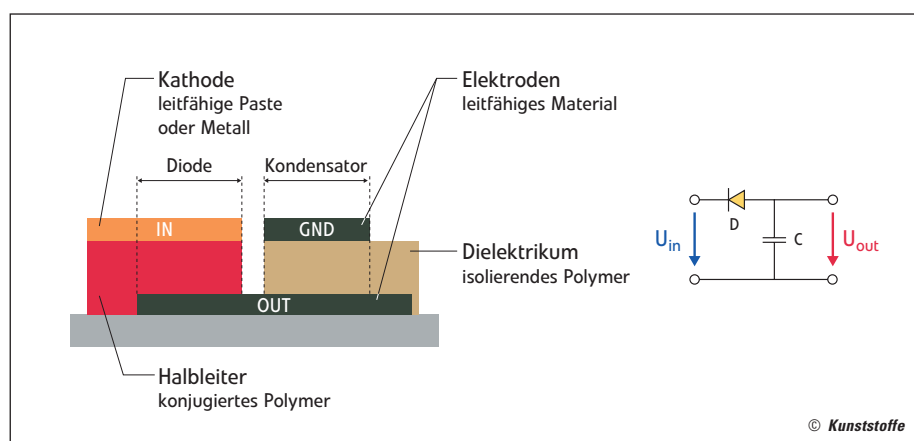


Bild 3. Aufbau eines gedruckten Polymer-Gleichrichters

ben [2]. Erste Anwendungen für die PolyIC-Produkte werden in den Bereichen Markenschutz, Wertbon, Marketing und Logistik gesehen.

Im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten PRISMA-Projekts (Printed Smart Labels), bei dem PolyIC Konsortialführer ist, wurden alle 400 Eintrittskarten bei der oben erwähnten OEC-Konferenz mit einem PolyID-Tag versehen, wobei diese Karten beim Betreten des Konferenzsaals über ein Radio-Frequenz-Lesegerät bei 13,56 MHz ausgelesen und ausgewertet wurden. Auf diese Weise konnte mit gedruckter Elektronik erstmals eine Zugangskontrolle sowie eine Anwesenheitszählung in Form eines Feldtests realisiert werden.

Der Aufbau von RFID-Funketiketten

Der kontinuierliche Fortschritt auf dem Weg zu Produkten ist bei PolyIC auch an den Ergebnissen im Labor abzulesen. Stand am Anfang die Entwicklung von

einfachen Transistoren, so wurden bald komplexere Bauteile wie Inverter und auch schnelle Ringoszillatoren realisiert [3].

Wie sieht nun eigentlich ein Transistor aus, also der Grundbaustein der hier beschriebenen gedruckten Elektronik? Ein Polymer-Feld-Effekt-Transistor (PFET), besteht im Wesentlichen aus vier verschiedenen Komponenten (Bild 1), die bis auf das Substrat als eine Art elektronische Tinte verdruckt werden.

Auf einem flexiblen Substrat als Trägermaterial befinden sich Elektroden aus einem leitfähigen Material (Source und Drain), die von einem halbleitfähigen Kunststoff bedeckt sind. Darüber wird eine Schicht eines isolierenden Kunststoffs

aufgedruckt. Den Aufbau komplettiert die sogenannte Gate-Elektrode, die wieder in Form eines leitfähigen Materials aufgedruckt wird. Es ist wichtig, dass sich der gesamte Aufbau durch moderne Druckprozesse in einer Gesamtdicke von nur wenigen Mikrometern realisieren lässt.

Als geeignetes Trägermaterial für gedruckte RFID-Tags bietet sich besonders Polyethylenterephthalat (PET) an, da es neben seinen elektrischen Eigenschaften auch das erforderliche mechanische Eigenschaftsprofil besitzt, um in schnellen Rolle-zu-Rolle-Prozessen eingesetzt zu werden. Als Elektrodenmaterial eignen sich intrinsisch leitfähige Kunststoffe wie Polyanilin [4] oder auch das System PEDOT/PSS [5]. Auch leitfähige Nanopartikel oder Metalle werden in der Literatur beschrieben [6]. Die elektrisch wohl wichtigste Schicht, der Halbleiter, besteht häufig aus konjugierten Polymeren. Es handelt sich hierbei um Kunststoffe, die eine streng alternierende Sequenz von Einfach- und Doppelbindungen aufweisen und deshalb halbleitende Eigenschaften zeigen [1].

! Im Profil

Die **PolyIC GmbH & Co. KG** wurde im November 2003 als Joint Venture zwischen der Leonhard Kurz GmbH & Co. KG (51 %, Beschichtungen und Heißsprägetechnologie) und der Siemens AG (49 %, Elektronik) für die Entwicklung und Produktion der gedruckten Polymerelektronik gegründet. Der Standort von PolyIC ist in Fürth, auf dem Gelände der Leonhard Kurz Stiftung & Co. KG. Das Unternehmen ist führend in der Entwicklung von Polymerelektronik-Bauteilen und ein Anbieter von Produkten und Komponenten mit gedruckter Elektronik. PolyIC wird Low-Cost-Elektronik-Produkte für den Massenmarkt bereitstellen, basierend auf organischen bzw. druckbaren Halbleitern.

Durch ein entsprechend geschicktes Schaltungslayout – also quasi ein Druckbild – gelingt es, viele hundert Transistoren so zu kombinieren, dass am Ende des Druckprozesses ein RFID-Chip entsteht.

Um den steinigen Weg vom einfachen Transistor über den Chip hin zum fertigen Funketikett zu verstehen, sollte man noch einmal einen Blick auf die einzelnen Bestandteile eines RFID-Tags werfen (Bild 2). Die hier betrachteten gedruckten Transponder entnehmen ihre Energie dem RF-Feld des Senders/Lesegeräts (HF bei 13,56 MHz) und brauchen dadurch keine eigene Energieversorgung. Bild 2

nen. PolyIC konnte jedoch zeigen, dass regioregulares Poly(3-hexylthiophen) [s. 1] als Diodenmaterial zur Gleichrichtung von Wechselfeldern mit einer Frequenz von 13,56 MHz überraschenderweise gut funktioniert [7].

In Bild 3 erkennt man analog zum Polymer-Feldeffekt-Transistor [s. 3], dass integrierte Polymer-Gleichrichter – bestehend aus Dioden und Kondensatoren – ebenfalls einen relativ einfachen Schichtaufbau aufweisen. Dies ist wiederum der Grund, weshalb man derartige Bauelemente durch additiven Druck auf flexiblen Kunststofffolien herstellen kann.

bit völlig ausreichen. Man muss dabei beachten, dass die Information 2^{BIT} ist. Bei einem 8-Bit-System kann man also 2^8 , d.h. also 256 verschiedene Signale in Form von Seriennummern übertragen.

Schon 2006 präsentierte PolyIC einen im Reinraum hergestellten 8-Bit-Polymer-Transponder, der bei 13,56 MHz ausgelesen werden kann [8]. Abgesehen von der Antenne und den Elektroden bestehen alle anderen Bauelemente aus Kunststoffen. Innerhalb von etwa einer Zehntelsekunde kann die gesamte Information mit einem maximalen Leseabstand von 7,5 cm über eine induktive Kopplung ausgelesen werden. Der RFID-Tag besitzt eigentlich sogar 16 Bit, nämlich 8 Protokoll- und 8 Datenbit von 00000000 bis 10111011. Im unteren Teil von Bild 5 sieht man die acht Datenbit, im oberen Teil die vom Lesegerät registrierte Information.

Inzwischen hat das Unternehmen ein Labormuster eines 32-Bit-RFID-Tags und 2007 weltweit erstmals sogar einen induktiv gekoppelten 64-Bit-Polymertransponder [9] vorgestellt. Damit ließ sich die prinzipielle Machbarkeit auch von hochkomplexen RFID-Tags, die auf kommerziell erhältlichen Kunststoffen basieren, zeigen.

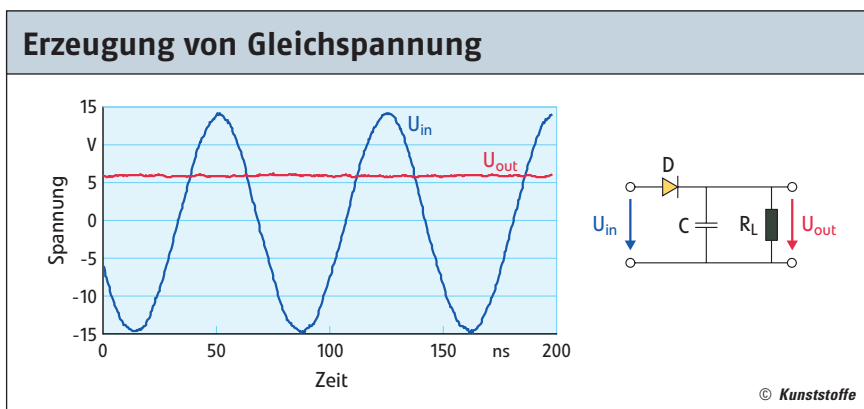


Bild 4. Gleichrichtung eines 13,56 MHz-Signals mit gedruckter Elektronik

zeigt, dass sich im Transponder zur Aufnahme der Energie ein Schwingkreis befindet, der klassisch aus einer Antenne und einem Kondensator besteht. Die dort eingekoppelte Wechselfeldung muss dann mithilfe eines Gleichrichters, der aus Kondensator und Diode besteht, gleichgerichtet werden. Die somit erzeugte Gleichspannung bringt den Chip, der aus mehreren hundert gedruckten Transistoren aufgebaut ist, zum Laufen. In Abhängigkeit vom Speicher entzieht das Transpondersystem dem vom Sender ausgestrahlten 13,56 MHz-Wechselfeld in gewissen zeitlichen Abständen Energie, womit die auf dem Chip gespeicherte Information letztendlich übertragen wird.

Zur Herstellung von gedruckten RFID-Tags muss man jedoch nicht nur Transistoren, sondern auch andere elektrische Bauteile, wie Kondensatoren und Dioden, in hoher Qualität drucktechnisch erzeugen. Als besonders kritisches Bauelement wurde hier lange Zeit die Diode gesehen, da man vor wenigen Jahren noch annahm, dass sich die momentan zur Verfügung stehenden organischen Halbleiter (z. B. in Form von konjugierten Polymeren) aufgrund ihrer Materialeigenschaften nicht zur Gleichrichtung von hochfrequenten Wechselfeldern eig-

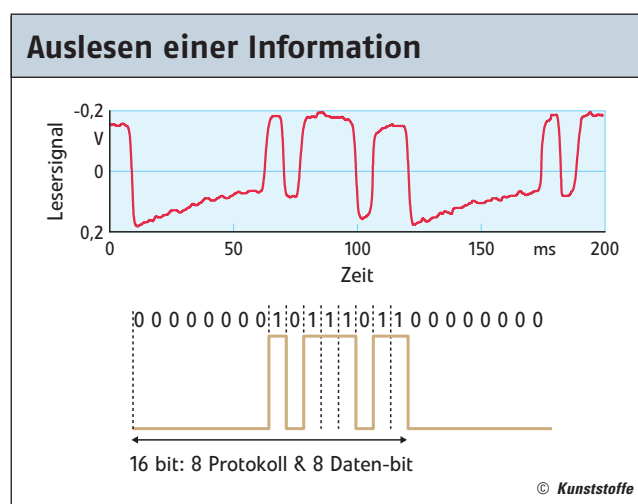


Bild 5. Übertragung von 8 Datenbit mit gedruckter Elektronik

Bild 4 zeigt die Eingangsspannung mit 13,56 MHz (blaue Kurve) und die im gedruckten Bauteil erzeugte und für den Chipbetrieb benötigte Gleichspannung (rote Linie).

Im Fokus: Erhöhung der RFID-Speicherkomplexität

Auch bei gedruckten RFID-Systemen wird natürlich angestrebt, möglichst viel Information zu übertragen, obwohl für einfachste Anwendungen wenige Daten-

Parameter zur Beurteilung des gedruckten RFID-Systems

Die zurzeit größte Herausforderung besteht nun darin, diese mit Reinraumtechnologie erzielten Resultate auf einen hochvolumigen und schnellen Rolle-zu-Rolle-Druckprozess zu übertragen. Dabei kommt es zunächst darauf an, die Schlüsselparameter für einen geeigneten Druckprozess hin zu gedruckter Elektronik zu identifizieren. Oftmals wird dies in der Literatur heutzutage stark vereinfacht



Bild 6. Echtheitsprüfung bei Arzneimitteln durch integrierte RFID Tags in der Verpackung



Bild 7. Smart Label mit RF-aktivierbarem Display

und an wenigen Einzelparametern wie etwa an der Ladungsträgermobilität des organischen Halbleiters oder an der Gestalt von Transistorkennlinien festgemacht. Es zeigte sich jedoch, dass gedruckte Elektronik ein hochkomplexes System von vielen Einzelparametern darstellt, die erst einmal alle identifiziert, dann gemessen und gehandhabt werden müssen. Es ist festzustellen, dass die Änderung eines einzelnen Parameters, wie etwa die Erhöhung der Schichtdicke, oftmals großen Einfluss auf das gesamte System hat.

Bei der Beurteilung des Gesamtsystems ist besonderes Augenmerk auf folgende vier Punkte zu richten:

Material/Chemie:

- hohe Ladungsträgermobilität des Halbleiters,
- geeignete Elektrodenaustrittsarbeit,
- Regioregularität des Halbleiters [s. 1],
- geeignete Lösungsmittel,
- chemische Beständigkeit der eingesetzten Materialien,
- Umweltverträglichkeit des Herstellungsprozesses.

Schaltungsentwicklung:

- neue Schaltungskonzepte,
- Layoutentwurf,
- Schaltungssimulation, da die schon lange bekannten Konzepte der Siliziumelektronik nicht einfach übernommen werden können.

Device-Physik:

- Anpassung Transistor-Kanallängen und -breiten an derzeit verfügbare Druckverfahren,
- Untersuchung von Grenzschichten,
- zu vermeidende parasitäre Kapazitäten,

- Lebensdauer des Gesamtbauteils.

Geometrie:

- Schichtdicken,
- laterale Abmessungen.

PolyIC hat mittlerweile die Schlüsselparame- ter für seine erste Produktgeneration identifiziert, was zu einem kombinierten und kontinuierlichen Rolle-zu-Rolle-Druckverfahren mit Geschwindigkeiten von etwa 20 m/min geführt hat. Darüber hinaus steht auch eine Inline-Qualitätskontrolle mit optischen und elektrischen Analysemaßnahmen im besonderen Fokus, da die in großen Stückzahlen erzeugten Tags natürlich auch auf ihre Funktionalität überprüft werden müssen.

i	Anwender
<p>PolyIC GmbH & Co. KG Tucherstr. 2 D-90763 Fürth Tel. +49 (0) 09 11/ 2 02 49-0 Fax +49 (0) 09 11/2 02 49-8001 www.polyic.com</p>	

Neue Produktlinien

Einer der großen Vorteile gedruckter Elektronik ist die Integrierbarkeit in Produkte und Verpackungen. Beispielsweise lassen sich die dünnen und flexiblen Produkte durch Laminieren, Etikettieren oder Direktauftragen auf flexiblen Verpackungsmaterialien aufbringen. Das betrifft zunächst Etiketten mit gedruckter Elektronik (z. B. als RFID-Tag oder als Displayelement). Im nächsten Schritt

wird es dann möglich sein, die gedruckte Elektronik direkt in Verpackungen zu integrieren und somit „intelligente Produkte“ zu realisieren, d. h. Produkte, die über gedruckte RFID-Tags direkt mit den entsprechenden Lesegeräten kommunizieren können. Hiermit lassen sich dann die Visionen vom „Internet der Dinge“ realisieren, beispielsweise in Form von intelligenten Kühlschränken und Waschmaschinen, einem intelligenten Einkaufswagen im Supermarkt oder auch einer besseren Automatisierung in vielen Herstellungsprozessen.

Die Produkte der oben bereits erwähnten PolyID-Linie erlauben eine elektronische Identifizierung des „getaggten“ Produkts über Radiofrequenz-Signale. Die PolyID-Tags sind in Inlayform oder als Aufkleber auf einer Rolle in vom Kunden zu spezifizierenden Größen und Layouts erhältlich. Mögliche erste Anwendungen (Bild 6) sind in Abhängigkeit von der Speichertiefe z. B. kontaktlose Identifizierung, Anwesenheitskontrolle und Markenschutz.

Heutzutage sind Hochglanzbroschüren mit farbenfrohen Bildern allein nicht mehr ausreichend, um die Aufmerksamkeit potenzieller Kunden zu erregen. Wenn jedoch Lichteffekte und andere aktive Funktionen die Neugier oder auch den Spieltrieb wecken, ist der Kunde schon fast gewonnen. So beinhalten PolyLogo-Produkte neben Logik-Schaltkreisen auch andere elektronische Komponenten wie Displays, Sensoren und Batterien (Titelbild). Ein erstes PolyLogo-Produkt besitzt ein einfaches oder bei Bedarf auch segmentiertes Display, das

durch ein Radiofrequenzsignal von 13,56 MHz (HF-Bereich) aktiviert werden kann. Solche Displays zeigen ein vordefiniertes Symbol und können ebenfalls ins Label integriert werden (Bild 7).

Im inaktiven Zustand ist das Symbol unsichtbar, es erscheint erst dann, wenn das Label in die Reichweite eines entsprechenden Radiofrequenz-Senders gebracht wird. Dabei ist es technisch möglich, dass die im Display zu sehende Information entweder nach kurzer Zeit wieder verschwindet, oder aber dass die Information irreversibel „eingeschnitten“ wird und stets zu sehen ist. Mithilfe dieses optischen Indikators lässt sich beispielsweise auch erkennen, ob ein Tag bereits ausgelesen wurde. Mit derartigen Produkten wird dem starken Kundenwunsch Rechnung getragen, eine Identifizierung mit einer sichtbaren optischen Veränderung zu verknüpfen.

Fazit

Die Realisierung erster gedruckter RFID-Tags zeigt, dass die Plattform-Technologie der gedruckten Elektronik aktive und „intelligente“, aber dabei konkurrenzlos preiswerte Produkte ermöglicht. Johannes Gu-

tenberg hätte vor mehr als 500 Jahren nach seiner bahnbrechenden Erfindung des Buchdrucks nicht zu träumen gewagt, dass eine neue Druck-Revolution im Begriff ist, die Welt zu erobern und das Leben des Konsumenten positiv zu beeinflussen. ■

LITERATUR

- 1 Rost, H.: Von der Rolle. Kunststoffe 5 (2007), S. 97–101
- 2 Pressemitteilung PolyIC GmbH & Co. KG, Fürth, September 2007 (Informationsnummer: PolyIC 200709-001de)
- 3 Rost, H.: Vom Polymer-Transistor zur gedruckten Elektronik. Kunststoffe 10 (2005), S. 209–214
- 4 Rost, H. u. a.: All-Polymer Organic Fieldeffect-Transistors. Proceedings of the Materials Week 2001, publiziert auf CD, ISBN 3-88355-302-6 (2002)
- 5 Rost, H. u. a.: Air-stable all-polymer field-effect transistors with organic electrodes. Synth. Met. 145 (1) (2004) S. 83–85
- 6 Fix, W. u. a.: Fast polymer integrated circuits. Appl. Phys. Lett. 81 (9) (2002) S. 1735–1737
- 7 Zipperer, D. u. a.: Polymer Based Rectifiers and Integrated Circuits for Printable RFID Tags. Vortrag, MRS Spring Meeting (2005), San Francisco, USA
- 8 Clemens, W.: Printed RFID for high volume applications. Vortrag, RFID Smart Labels 2006, Boston, USA

- 9 Ullmann, A. u. a.: Polymer Multi-Bit RFID Transponder. Vortrag, International Conference for Organic Electronics 2007, Eindhoven, Niederlande

DIE AUTOREN

DR. HENNING ROST, geb. 1966, ist bei der PolyIC GmbH & Co. KG, Fürth, als Projektleiter für Materialfragen tätig; henning.rost@polyic.com

WOLFGANG MILDNER, geb. 1959, ist Geschäftsführer des Unternehmens.

SUMMARY KUNSTSTOFFE INTERNATIONAL

On the Way to Printed Electronics

LATEST ADVANCES. Printed electronic parts are based on semiconducting and electroconductive plastics and can be mass produced quickly on printing machines. The resulting cost and price structures will create entirely new markets. Cheap transponder labels, so-called RFID tags, are a leading candidate for applying this technology.

NOTE: You can read the complete article in our magazine **Kunststoffe international** and on our website by entering the document number **PE104275** at www.kunststoffe-international.com

Printed Electronics everywhere

Die Revolution in der gedruckten Elektronik

POLYID® gedruckte RFID

PolyID® gedruckte RFID tauschen über Funktechnik Informationen mit einem Lesegerät aus, z.B. einen Produktcode. PolyID® gedruckte RFID werden z.B. in der Präsenzkontrolle, im Diebstahlschutz, für Sortierfunktionen oder in der Logistik u.v.m. eingesetzt.

Mehr Infos finden Sie unter: www.polyic.com/polyid



POLYLOGO® Smart Objects

PolyLogo® Smart Objects beinhalten neben der gedruckten Elektronik kleine Displays, um Symbole und Infos anzuzeigen. PolyLogo® Smart Objects werden im Markenschutz, bei der Echtheitskontrolle, auf Verpackungen oder Etiketten u.v.m. eingesetzt.

Mehr Infos finden Sie unter: www.polyic.com/polylogo



Möchten Sie mehr über PolyID® und PolyLogo® erfahren?

Auf unserer Website stellen wir Ihnen regelmäßig die neuesten Trends und Entwicklungen in der gedruckten Elektronik und bei PolyIC vor: www.polyic.com

