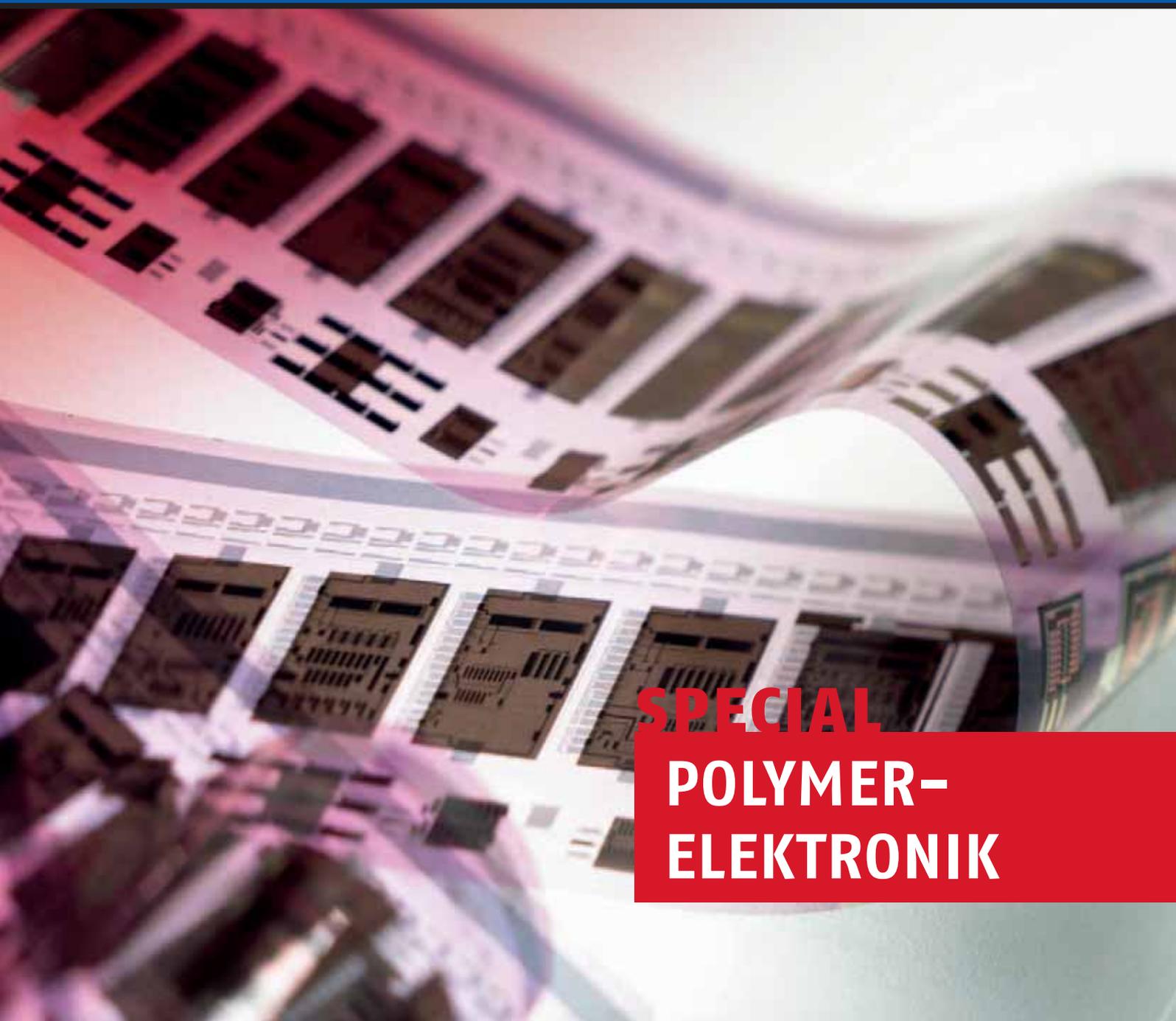


Kunststoffe

ELECTRONICS



**SPECIAL
POLYMER-
ELEKTRONIK**

■ PHOTOVOLTAIK ■ RFID-TAGS ■ LED-LEUCHTEN ■ PLASMA

Photovoltaik. Die Photovoltaikindustrie boomt weltweit. Zweistellige Umsatzzuwächse waren in den letzten Jahren die Normalität. Davon profitieren auch Kunststoffunternehmen, denn ein Solarmodul besteht nicht nur aus Silizium.



Solaranlage auf dem Gelände des Forschungslabors von DuPont Photovoltaic Solutions in Wilmington

Vielmehr kommen unterschiedliche Werkstoffe für Backsheets, Frontsheets, Kapselungen und Anschlussdosen zum Einsatz. Dieser zukunftsreiche Bereich bietet demnach auch für die Kunststoffindustrie sehr gute Wachstumschancen.

Großes Potenzial für die Kunststoffindustrie

**HILDE ROEKENS
AXEL BEYER**

Ende 2006 waren in Deutschland 300 000 Solarstromanlagen installiert, die nach Angaben des Verbands der Netzbetreiber (VdN) im gesamten Jahr rund 2000 Gigawattstunden (GWh) Solarstrom produziert haben. Zum Vergleich: 1000 GWh entsprechen dem jährlichen Strombedarf aller Einwohner Stuttgarts (Quelle: Bundesverband Solarwirtschaft BSW). Um den Strombedarf der Bundesrepublik vollständig solar zu decken, wären bereits bei heutigem Modulwirkungsgrad rund 3000 km² Photovoltaikfläche ausreichend. Allein an Dachflächen stehen mehr als 2800 km² zur Verfügung – rund ein Viertel davon wären sofort technisch nutzbar.

Die European Photovoltaic Industry Association (EPIA) rechnet laut einer Schätzung von Ende 2006 bis zum Jahr 2010 mit einem jährlichen Wachstum des weltweiten Photovoltaikmarkts von durchschnittlich 37 %. Der größte Markt in Europa ist Deutschland, wo staatliche Förderprogramme, wie sie im Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) der Bundesregierung von 2004 festgelegt sind, zu einer starken Nachfrage nach Photovoltaikanlagen zur Stromerzeugung

geführt haben (Bild 1). Auch in Spanien, Italien, Frankreich und Griechenland wurden in der Zwischenzeit ähnliche Gesetze erlassen, und so ist auch dort in den nächsten Jahren mit großen Zuwachsraten zu rechnen.

Solarmodule – Mehr als Silizium

Solarzellen bestehen aus einem Halbleitermaterial, meist Silizium. Trifft Sonnenlicht auf einen Halbleiter, werden Ladungsträger aus dem Material herausgelöst. Mithilfe von n (negativ)



Bild 1. Entwicklung der Photovoltaik-Stromerzeugung in Deutschland seit dem Jahr 2001 (1000 GWh entsprechen dem jährlichen Strombedarf aller Einwohner Stuttgarts) (Quelle: Bundesverband Solarwirtschaft BSW)

dotierten und p (positiv)-dotierten und damit entgegengesetzt geladenen Halbleiterschichten entsteht ein elektrisches Feld, das zu einer Trennung der freigesetzten Ladungsträger führt. Über Metallkontakte kann nun eine elektrische Spannung abgegriffen werden (Bild 2). Dafür wird auf der Vorderseite eine Silber-Leitpaste in Form von dünnen Fingern mittels Siebdruck aufgebracht und mit der ganzflächigen Aluminiummetallisierung auf der Rückseite durch sogenanntes „Durchfeuern“ zu Kontakten verbunden.

Um die gewünschte Leistung zu erzielen, werden einzelne Silizium-Solarzellen in der Regel mithilfe von Lötbandchen zu einem Solarmodul verschaltet. Zum Schutz vor mechanischer Beanspruchung erfolgt eine Kapselung in ein transparentes Verbundmaterial, häufig Ethylen-Vinyl-Acetat (EVA). Das Backsheet (Rückwandabdeckung) aus Glas, Plexiglas oder Kunststofffolien schützt das Solarmodul gegen mechanische Beanspruchung, Witterungseinflüsse und Feuchtigkeit und dient zur elektrischen Isolierung sowie zur statischen Stabilisierung des Moduls. Das Frontsheet auf der Vorderseite sorgt für ungehinderte Lichteinstrahlung und schützt gleichzeitig vor Verschmutzungen durch Umwelteinflüsse.

Glas/Folien- und Glas/Glas-Module

Die am meisten verwendeten Solarmodultypen sind sogenannte Glas/Folien-Laminare (Bild 3 links). Sie bestehen aus einer Frontglasscheibe und einer rückseitigen Kunststoffverbundfo-

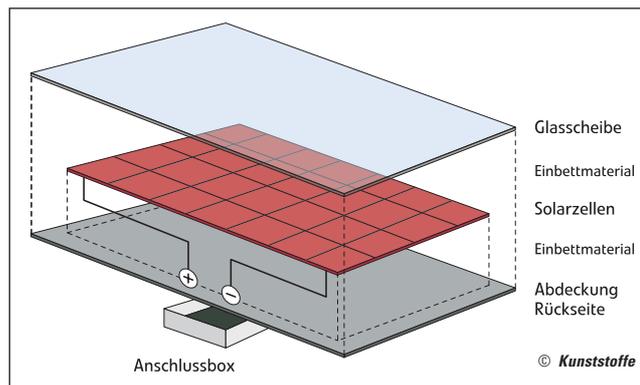


Bild 2. Solarmodule bestehen nicht nur aus Silizium, vielmehr kommt eine Vielzahl an unterschiedlichen Materialien zum Einsatz

lie als Backsheet, zwischen denen die Solarzellen in EVA eingebettet sind. Für das Backsheet wird eine dickere Folie aus Polyethylenterephthalat (PET) zwischen zwei dünnere Polyvinylfluoridfolien (PVF) geklebt. Dieses Trilaminat gewährleistet die elektrische Isolierung nach hinten und ist gleichzeitig sehr witterungsstabil. Glas/Folien-Module werden u. a. verwendet für Solardachsysteme zur Eindeckung von Schrägdächern, Fassadenverkleidungen und als Sonnenschutzelemente.

Glas/Glas-Laminare (Bild 3 rechts) werden häufig eingesetzt für Photovoltaikverglasungen im Fassaden- oder Überkopfbereich. Sie bestehen aus zwei Glasscheiben, zwischen denen die Solarzellen in EVA oder einem anderen Werkstoff eingebettet sind.

Photovoltaikwerkstoffe aus einer Hand

Neben dem Silizium für die Solarzellen selbst kommt in Photovoltaikanlagen also eine Reihe von weiteren Materialien zum Ein- ▶

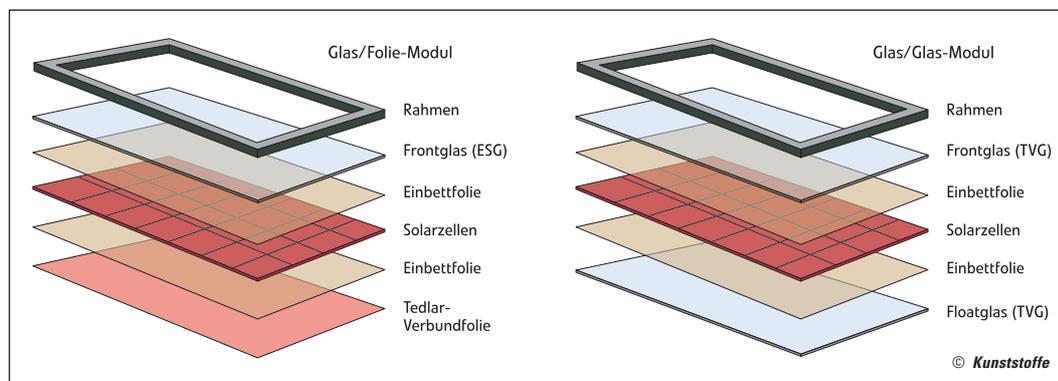


Bild 3. Aufbau eines Solarmoduls: Glas/Folie-Modul (links) und Glas/Glas-Modul (rechts)

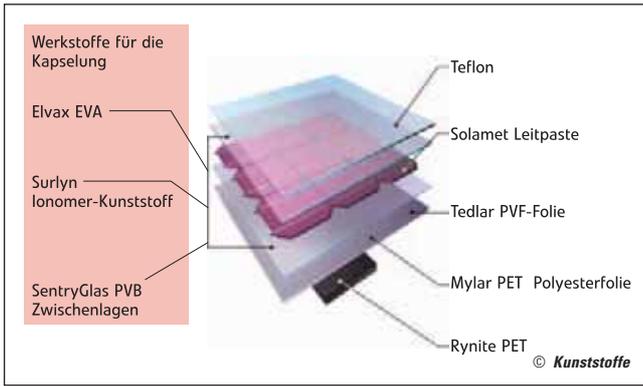


Bild 4. Umfangreiches Portfolio an Werkstoffen für die Photovoltaikindustrie

satz. DuPont ist seit fast 30 Jahren auf dem Photovoltaikmarkt aktiv und gilt heute als einer der führenden Materiallieferanten. Im Jahr 2004 fasste das Unternehmen seine Tätigkeiten in diesem Bereich unter dem Namen DuPont Photovoltaic Solutions zusammen und bietet ein breites Portfolio an Technologien und Lösungen für die folgenden Komponenten von Solarmodulen (Bild 4):

- Backsheet,
- Kapselung,
- Frontsheet,
- Front- und Rückseitenmetallisierung sowie
- Anschlussdosen.

Im Bereich Backsheet-Materialien gelten Tedlar PVF-Folien von DuPont dank ihrer vorteilhaften Eigenschaftskombination seit vielen Jahren als Industriestandard: PVF wurde 1960 kommerzialisiert, ist witterungs- und UV-beständig, besitzt gute mechanische Eigenschaften sowie eine hohe Barrierewirkung gegenüber Feuchtigkeit und verfügt über eine schmutzabweisende Oberfläche. Tests haben ergeben, dass Tedlar-Folien auch nach 20 Jahren im Betrieb die Solarmodule zuverlässig vor Umwelteinflüssen und Beschädigungen schützen.

Im Jahr 2006 stellte das Unternehmen seine neue Tedlar PV2100 Produktfamilie vor. Diese PVF-Folien der neuesten Generation besitzen eine noch höhere Dimensionsstabilität als ihre Vorgänger (Bild 5). Sie lassen sich daher besser verarbeiten und sorgen für noch langlebigere Solarmodule. Aufgrund ihrer höheren Reflektivität ermöglichen sie zudem bessere Wirkungsgrade von Photovoltaikanlagen. Tedlar PV2100-Folien besitzen eine glatte, glänzende Oberfläche und sind in einer Vielzahl von Farben erhältlich.

Mylar PET-Folien von DuPont Teijin Films kommen häufig als Mittellagen für Backsheet-Trilamine zum Einsatz. Sie bieten eine gute Barrierewirkung gegen Feuchtigkeit, gute elektrische Isolierung, hohe Dimensionsstabilität, lassen sich leicht verarbeiten und verfügen über eine hohe Durchschlag- und Scherfestigkeit. Neue Entwicklungen wie die Melinex PET- oder Teonex PEN-Folien (PEN = Polyethylenaphthalat) des Unternehmens sind speziell hitzestabilisiert und lassen sich bei höheren Temperaturen laminieren.

Werkstoffe für die Kapselung von Solarzellen

Für die Kapselung von Solarzellen bietet DuPont drei verschiedene Werkstoffe, die auf die unterschiedlichsten Einsatzbereiche der Solarmodule abgestimmt sind.

Elvax EVA ist seit mehr als 25 Jahren auf dem Markt. Folien aus diesem Material besitzen gute optische Eigenschaften, einen niedrigen Gelgehalt sowie eine hohe Polarität und behalten ihre Eigenschaften über eine lange Zeit. Darüber hinaus lassen sie sich leicht verarbeiten und besitzen eine gute Schlag- und Durchstichfestigkeit.

Folien aus Surlyn Ionomer von DuPont befinden sich relativ neu auf dem Markt und sind eine hochtransparente Alternative zu Kapselungen aus EVA. Sie bieten sehr gute optische Eigenschaften, sind chemisch und UV-beständig, zäh, hochfest und haften gut auf Glas.

Für Glas/Glas-Solarmodule in Überkopfverglasungen und Fassadenelementen gelten besondere Sicherheitsvorschriften in

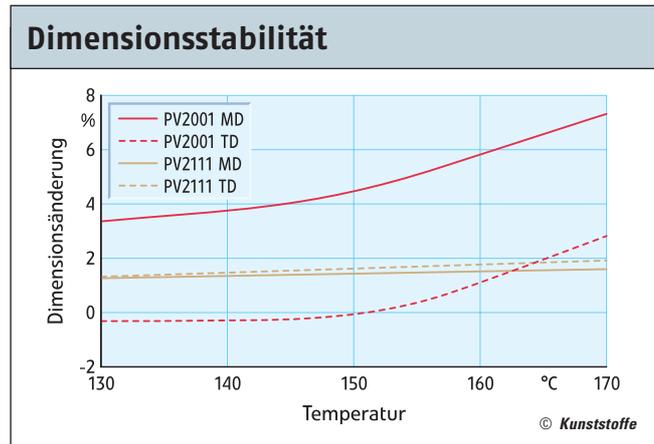


Bild 5. Im Vergleich mit Tedlar PV2001 zeigt der PVF-Folientyp PV2111 nur einen geringen und zudem gleichmäßigen Schrumpf in der Verarbeitungsrichtung (MD) und senkrecht dazu (TD)

Bezug auf die Bruchsicherheit. SentryGlas PVB-Zwischenlagen von DuPont kommen seit vielen Jahren für Verbund-Sicherheitsglas (VSG) zum Einsatz und haben sich auch zur Einkapselung von Solarzellen in VSG bewährt. Sie besitzen eine hohe Reißfestigkeit, eine ausgezeichnete Haftung an Glas und verfügen über sehr gute optische Eigenschaften. SentryGlas PVB-Zwischenlagen verleihen Glas/Glas-Modulen eine hohe Resttragfähigkeit nach Bruch und ermöglichen so die Einhaltung strengster internationaler Sicherheitsstandards für VSG in der Architektur.

Frontsheets aus Fluorkunststoff

Teflon-Folien kommen häufig als Frontsheets für flexible Solarmodule zum Einsatz. Durch ihren niedrigeren Brechungsindex im Vergleich zu Glas sind sie lichtdurchlässiger und ermöglichen so einen höheren Wirkungsgrad der Photovoltaikanlage. Der Werkstoff ist zudem leichter: Ein Frontsheet aus dem Fluorkunststoff für ein typisches Solarmodul von 1600 mm x 800 mm Größe wiegt weniger als 150 g. Dasselbe Element aus Glas dagegen hätte ein Gewicht von mehr als 10 kg. Die niedrige Oberflächenenergie von Teflon verhindert, dass Staub und Schmutz auf den Solarmodulen haften bleiben. Seine guten mechanischen Eigenschaften wie hohe Festigkeit und Zähigkeit, seine UV-Stabilität über einen langen Zeitraum sowie seine gute chemische Beständigkeit sorgen für eine längere Lebensdauer der Module.

i	Hersteller
<p>DuPont de Nemours GmbH Du Pont Str. 1 D-61343 Bad Homburg Tel. +49 (0) 61 72/87-0 Fax +49 (0) 61 72/87-1500 www.dupont.de</p>	

Leitpasten für alle Fälle

Front- und Rückseitenmetallisierung von Solarzellen müssen verschiedene Anforderungen erfüllen. Die Leiterbahnen auf der Vorderseite müssen einen guten Kontakt zur n-dotierten Halbleiterschicht herstellen. Trotz der geringen Dicke der Kontaktfinger muss der elektrische Widerstand gering sein, um den Wirkungsgrad der Solarzelle nicht zu beeinträchtigen. Die Rückseitenmetallisierung wird flächig mittels Siebdruck aufgetragen. Sie muss sich gut mit dem Silizium vermischen und eine hoch dotierte positive Oberflächenschicht erzeugen, das sogenannte Back Surface Field (BSF), was die Verluste an der Solarzellenrückseite reduziert. Da die Kontakte von der Vorder- zur Rückseite in einem Sinterprozess durch das Silizium gefeuert werden, müssen die für die Metallisierungen verwendeten Werkstoffe optimal aufeinander abgestimmt sein.

Das Angebot von DuPont beinhaltet Leitpasten für die Front- und Rückseitenmetallisierung sowie für die Leitbändchen, die die einzelnen Solarzellen zu Solarmodulen verbinden. Solamet PV14x Silber-Leitpaste von DuPont gilt heute als Marktstandard für die Frontseitenmetallisierung. Zur Auswahl der passenden Rückseitenmetallisierung bietet DuPont umfangreiche Hilfestellung an und hat dazu verschiedene Werkstoffe im Programm. Zu den Neuentwicklungen zählen umweltfreundliche, d.h. kadmiumfreie sowie kadmium- und bleifreie Varianten und Pasten, die die Durchbiegung des Siliziumwafers minimieren und sich somit für sehr dünne (<240 µm) und damit kostengünstige Solarzellen eignen.

Die Anforderungen an Leitpasten für die Lötbandchen umfassen eine gute Haftbarkeit, gute Lötbarkeit und gute Druckeigenschaften. DuPont bietet für diese Zwecke eine kadmiumfreie Silber-Aluminium- und Silberpaste sowie eine kadmium- und bleifreie Silberpaste an.

PET für Modulanschlussdosen

Die Modulanschlussdose hat mehrere Funktionen zu erfüllen. Einerseits beinhaltet sie die elektrischen Anschlüsse und die Bypassdiode(n) des Moduls. Andererseits muss sie mechanische Belastungen durch die Leitungen aufnehmen können und das Eindringen von Feuchtigkeit verhindern. Da sie im Außenbereich zur Anwendung kommt, muss sie aus UV- und wärmebeständigem Material sein. Sie muss mindestens den Schutzgrad IP 54 und die Schutzklasse II aufweisen.

Mit seiner hohen Hitzebeständigkeit, guten mechanischen und selbstverlöschenden Eigenschaften eignet sich Rynite PET besonders für diese Anforderungen. Der für Anschlussdosen vorgesehene Typ FR530 BK 507 ist verstärkt mit 30 Gew.-% Glasfasern, flammwidrig ausgerüstet und wärmeformbeständig bis 226°C. Er erfüllt die UL 94-Klassifizierung selbst bei 0,35 mm Dicke mit der besten Klassifizierung V-0 und besteht die Glühdrahtprüfung nach IEC 60695-2-12 bei 960°C. Seine Kriechstromfestigkeit nach UL 746A liegt bei 250 V.

Weiterhin starkes Wachstum erwartet

DuPont rechnet nach eigenen Aussagen damit, dass der Markt für Tedlar PVF-Folien aufgrund der hohen Nachfrage nach Solaranlagen um 30 % pro Jahr zunimmt. Erst im August 2006

Produkte für Photovoltaik

DuPont engagiert sich seit fast 30 Jahren im Photovoltaikmarkt und stellt eine ganze Reihe von Werkstoffen dafür zur Verfügung. Bekannte Beispiele sind seine Tedlar PVF-Folien, die heute als Industriestandard für Backsheets gelten, Elvax EVA, das häufig als Kapselungsmaterial eingesetzt wird, sowie Solamet Aluminium- und Silber-Leitpasten für die Metallisierung.

gab das Unternehmen die Investition von 50 Mio. USD in den Ausbau seiner Tedlar Produktionsstätten in Fayetteville, North Carolina (USA) bekannt. Das neue Werk soll 2007 fertig gestellt werden. Insgesamt investierte DuPont im Jahr 2006 mehr als 100 Mio. USD in seine Aktivitäten im Photovoltaikbereich. ■

DIE AUTOREN

DIPL.-CHEM. HILDE ROEKENS ist Global Market Segment Leader bei DuPont Fluoropolymer Solutions.

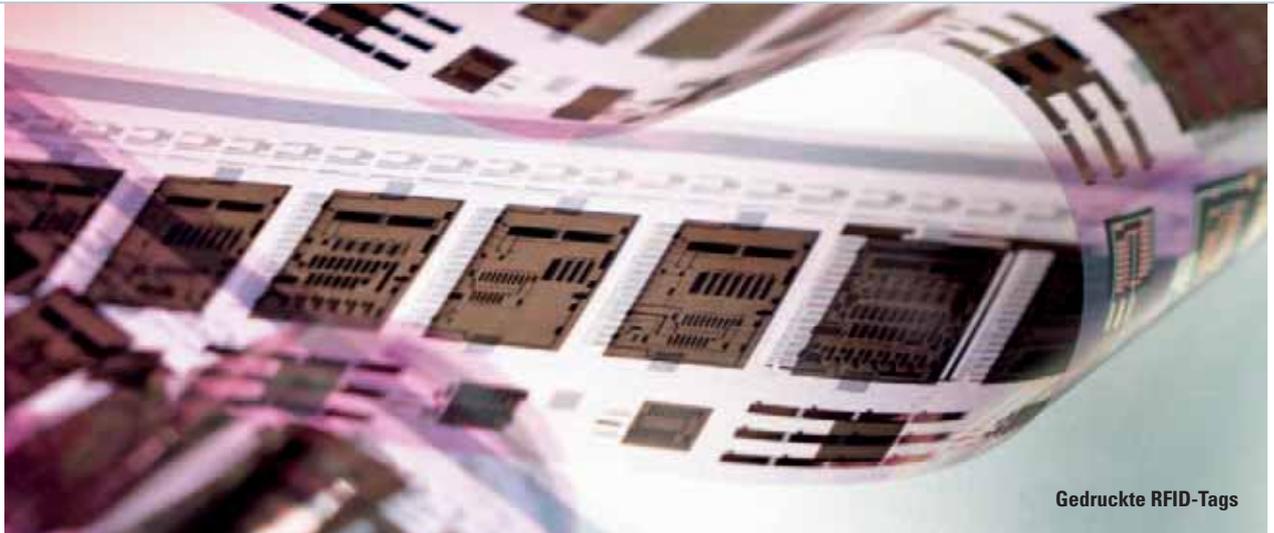
DIPL.-KAUFMANN AXEL BEYER ist Photovoltaic Segment Leader bei DuPont Packaging & Industrial Polymers.

SUMMARY KUNSTSTOFFE INTERNATIONAL

Big Opportunity for Plastics Industry

PHOTOVOLTAICS. Throughout the world photovoltaics is booming. Growth rates have usually been two-digit over recent years. Plastics enterprises also profit from this, since a solar panel is not only made of silicon. It rather employs a variety of materials for backsheets, frontsheets, encapsulations and connecting boxes. This seminal sector thus provides excellent chances of growth, also for the plastics sector.

NOTE: You can read the complete article by entering the document number PE103882 on our website at www.kunststoffe-international.com



Gedruckte RFID-Tags

Von der Rolle

Gedruckte elektronische Schaltungen. Mit der organischen Elektronik erscheint eine neuartige Technologie am Horizont: So wird zum Beispiel mit gedruckten RFID-Tags ein fast fälschungssicheres Produkt-Identifizierungsmerkmal eingeführt. Die Einsatzfelder reichen von der günstigen Diebstahlsicherung bis zum komplexen EPC (Electronic Product Code).

HENNING ROST

Gedruckte Elektronik wird schon bald in vielfältiger Weise neue Märkte und Applikationen eröffnen. Die Realisierung erster Produkte erschien in der Vergangenheit allerdings oft als Zukunftsmusik. Die Fürther Firma PolyIC, ein Joint Venture zwischen der Leonhard Kurz GmbH & Co. KG und der Siemens AG, konnte jedoch in den letzten drei Jahren kontinuierlich Fortschritte auf dem Weg zu ersten Produkten zeigen. So wurde vor Kurzem ein entscheidender Meilenstein erreicht. PolyIC stellte Prototypen von 13-MHz-RF-Tags vor, die erstmals komplett mit Rolle-zu-Rolle-Druckprozessen hergestellt wurden. Diese Bauteile bestehen aus gedruckten polymerelektronischen Komponenten und ebenfalls folienbasierten Antennen. Ebenso wurden logische Schaltungen in Form von Ringoszillatoren mit modernen Druckprozessen realisiert [1].

Was ist RFID?

Bei Radio-Frequenz-Identifikationssystemen werden Funksignale, d.h. Radiowellen von einem Sendergerät ausgesendet,

die von einem sogenannten Transponder (auch Tag oder Funketikett genannt) empfangen werden. Durch die Verwendung von Funkwellen kann die Informationsübertragung berührungslos erfolgen, ein Sichtkontakt ist anders als beim Barcode nicht erforderlich. Künftige RFID-Systeme können aus größerer Distanz und bei Bedarf auch durch das Produkt hindurch Informationen auslesen.

tionen auf dem Transponder integriert sind. Die Antenne ist genau auf die Sendefrequenz des Sendergeräts abgestimmt. Wie bereits gesagt, erhält der Chip nur aus der Sendeleistung Energie. Er kann die in ihm gespeicherte Information dann wieder über seine Antenne an den Sender zurücksenden.

Der maximale Ausleseabstand zwischen RFID-Tag und dem Lesegerät wird

Frequenzband	Frequenz	Einsatzgebiet
LF (Low Frequency)	125–135 kHz	Tier-Identifikation
HF (High Frequency)	13,56 MHz	Smart Cards, Automatisierung
UHF (Ultra High Frequency)	860–950 MHz	Palettenidentifikation

Tabelle 1. Frequenzbereiche für die RFID-Übertragung

Die in diesem Artikel betrachteten Funketiketten sind passiv, was bedeutet, dass sie keine eigene Stromquelle besitzen, sondern ausschließlich über das Funkfeld des Lesegeräts mit Energie versorgt werden. Der Transponder selbst ist dabei ein relativ einfaches System, das aus einer Antenne und einem Chip mit Transistoren besteht. Die Anzahl der Transistoren kann dabei von wenigen Zehn bis zu einigen Tausend variieren, je nach dem, wie viel Speicher und sonstige Funk-

hauptsächlich durch die Arbeitsfrequenz, aber auch durch bauliche Aspekte bestimmt, wobei es weltweit drei bereits etablierte Frequenzbereiche für eine RFID-Übertragung gibt. Diese Frequenzbänder unterliegen internationalen Regulierungen, haben unterschiedliche technische Eigenschaften und damit unterschiedliche Einsatzgebiete (Tabelle 1).

Heutzutage werden RFID-Kennzeichnungen schon vielerorts, zum Beispiel im Großhandel bei Großgebänden, einge-

setzt. Unterhalb der Paletten- oder Containerebene ist die klassische, schon lang bekannte und auf Silizium basierende Chip-Technologie jedoch selten zu finden. Hauptgrund hierfür ist, dass die Stückkosten für derartige RFID-Chips einfach zu hoch sind, um auch geringwertige Einzelgüter, wie etwa einen Joghurtbecher, einzeln „zu taggen“ (Bild 1).



Bild 1. Noch Vision: mit PolyID „getaggte“ Joghurtbecher

Ein Nachteil der Siliziumchips ist deren mechanische Empfindlichkeit. Im Gegensatz dazu weisen gedruckte RFID-Tags eine Reihe von Vorzügen auf, die auf der Einzelteilebene sehr willkommen sind. Die hier betrachteten RFIDs werden auf flexible und dünne Kunststofffolien aufgedruckt. Als kostengünstiges Massenprodukt „von der Rolle“ lassen sie sich leicht verarbeiten und außerdem in bestehende Fertigungs- und Verpackungsstraßen integrieren.

Es sollte allerdings nicht unerwähnt bleiben, dass gedruckte RFID-Tags in ihrer elektrischen Komplexität und Speicherkapazität derzeit noch weit hinter den Möglichkeiten hochintegrierter Siliziumchips zurückbleiben. Für einen typischen Anwendungsfall wie etwa als Produktidentifikationsmerkmal oder auch als Echtheitszertifikat sind gedruckte RFID jedoch vollkommen ausreichend. Beide Verfahren – die klassische Silizium-RFID-Technik und die neuen gedruckten RFID-Tags – haben jeweils ihre spezifischen Vorzüge und ergänzen sich im Verbund ideal.

Die eingesetzten Materialien

In RFID-Tags findet man viele organische Feldeffekt-Transistoren (OFETs), wobei aber erst deren intelligente Verknüpfung einen funktionierenden Schaltkreis ermöglicht. Bild 2 stellt den typischen Aufbau eines OFETs im sogenannten Top-Gate-Aufbau dar. Ein OFET besteht aus wenigen Schichten und ist somit recht einfach aufgebaut. Genau aus diesem Grund ist es überhaupt erst möglich,

Elektronik durch additive Druckverfahren herzustellen.

Als geeignetes Trägermaterial für gedruckte RFID-Transponder bietet sich Polyethylenterephthalat (PET) an, da es über das benötigte Eigenschaftsprofil verfügt: dünn, flexibel, glatte Oberfläche, bedruckbar, kommerziell in großen Mengen erhältlich und relativ preiswert. Als

Elektrodenmaterial eignen sich sowohl intrinsisch leitfähige Kunststoffe (z. B. PEDOT/PSS) als auch Nanopartikel oder Metalle [2, 3].

Der wohl wissenschaftlich interessanteste und derzeit am intensivsten untersuchte Bestandteil eines

OFET ist der organische Halbleiter, der im Falle der gedruckten Elektronik meistens aus einem Kunststoff mit konjugierter Polymerhauptkette besteht [4]. Eine hierbei häufig eingesetzte Materialklasse sind alkylsubstituierte Polythiophene.

Polyalkylthiophene, und dabei besonders Poly(3-hexylthiophen) PHT, besitzen gute Ladungsträgermobilität und sind als effiziente Halbleiter in polymeren RFID-Tags beschrieben [5]. Löslichkeit in organischen Lösungsmitteln, spezielle rheologische Eigenschaften und damit Verdrückbarkeit werden durch die Substitution der Thiophenringe mit Alkylketten gewährleistet. Oft stellt die sehr allgemein angegebene Strukturformel für PHT jedoch nur einen Ausschnitt aus der Realität dar. Wird PHT aus asymmetrischen Monomeren synthetisiert, entstehen vier unterschiedliche sogenannte Triaden in der Polymerhauptkette (Bild 3).

Ein PHT, das überwiegend HT-HT (Head-to-Tail)-Triaden aufweist, zeigt eine größere effektive Konjugation und bildet im Festkörper dicht gepackte, quasi kristalline Strukturen, wobei die Polymerketten und damit auch die aromati-

schen π -Elektronensysteme lamellenartig angeordnet sind. Diese sogenannten regioregularen Polyalkylthiophene weisen einen geringen intermolekularen Abstand zwischen den einzelnen Polymerketten auf. All dies führt zu einer erhöhten Ladungsträgermobilität, also genau der Materialeigenschaft, die notwendig ist, um zum Beispiel hocheffiziente RFID-Tags herstellen zu können.

Es gibt drei patentierte Grund-Syntherouten und einige davon abgeleitete Verfahren, die regioregular, also hauptsächlich HT-HT-verknüpfte Polyalkylthiophene liefern. Das Ziel dieser Routen ist es zunächst einmal, durch regioselektiven „Einschub“ von metallischen Spezies in α -Stellung zum Schwefelatom des Thiophenrings ein asymmetrisches Monomer in hoher Ausbeute und Reinheit zu erzeugen. Die Polymerisation erfolgt dann durch eine Übergangsmetall-katalysierte Kupplungsreaktion dieser metallierten Seite des Monomers mit einer Kohlenstoff-Halogenbindung eines baugleichen anderen Thiophenmonomers durch XY-Abspaltung (Bild 3). Das Auftreten dieser Triaden hat seine eigentliche Ursache darin, dass bei einer geringen Anzahl der Monomerbausteine die X- und Y-Abgangsgruppen in Abweichung zur chemischen Idealstruktur vertauscht sind.

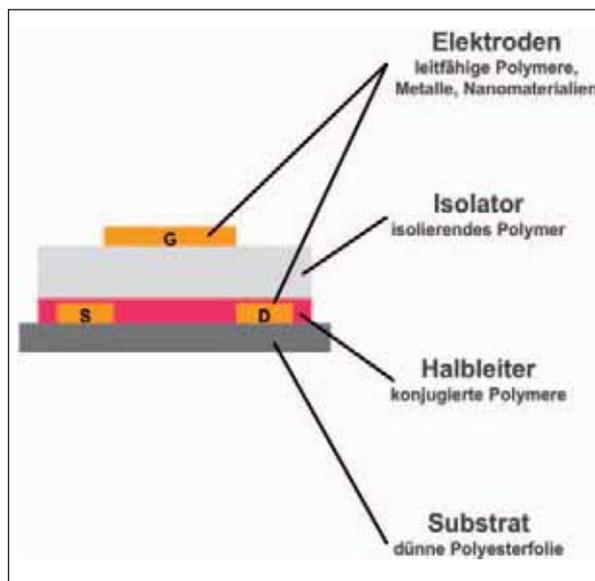


Bild 2. Aufbau eines Organischen Feldeffekt-Transistors (OFET)

Bei gekonnter Reaktionsführung ergeben alle drei Routen dennoch hoch-regioregular Polythiophene mit einer Strukturreinheit größer 95 % (bestimmt durch ¹H-NMR-Spektroskopie), die sich zum Einsatz in Polymerelektronikbauteilen sehr gut eignen.

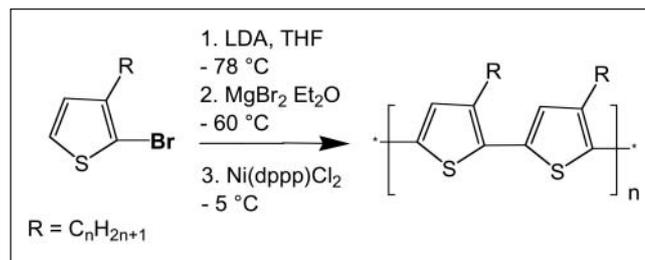
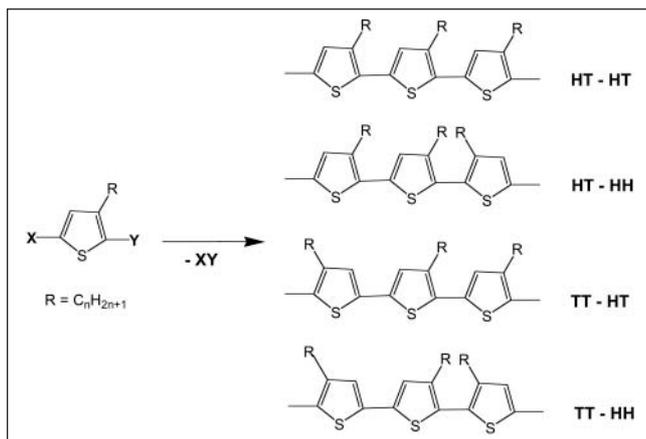


Bild 4. PHT-Reaktion: originale McCullough-Route

◀ Bild 3. PHT-Reaktion: Triaden in Polyalkylthiophenen (PHT)

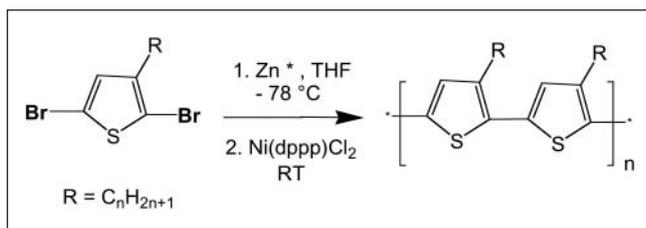


Bild 5. PHT-Reaktion: Rieke-Route

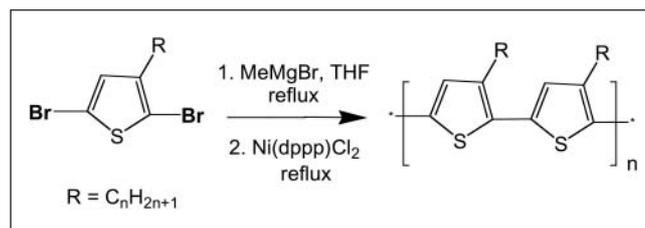


Bild 6. PHT-Reaktion: McCullough Route 2 (Grignard Metathese)

Bei der ursprünglichen McCullough-Route [6] wird das Monomer 2-Brom-3-alkylthiophen nach einer Metallierung mit zuerst Lithium und dann Magnesium mit seinesgleichen polymerisiert (Bild 4), wobei die Effektivität der Polymerisation sehr stark von der Qualität der verwendeten Chemikalien abhängt. Ein weiterer wichtiger Punkt ist die präzise Temperaturkontrolle zur Reaktionssteuerung.

Bei der sogenannten Rieke-Route [7] wird Zink als Metallierungsagens genutzt. Die Handhabung des benötigten hochreaktiven Rieke-Zinks (Zn^*) und damit die Reaktionsführung selbst (Bild 5) erfordern großes experimentelles Geschick und werden von der Fachwelt als relativ schwierig angesehen.

Die Ausgangsverbindung für das McCullough-Grignard-Metatheseverfahren [8] ist 2,5-Dibrom-3-alkylthiophen, also analog der Rieke-Route. Der Polymerisationsprozess (Bild 6) benötigt hier keine strikte Temperaturkontrolle. Die Reaktion kann sogar unter Rückfluss ausgeführt werden, womit diese Route auch für ein Up-Scaling prinzipiell geeignet erscheint.

Bei den Endprodukten aus allen drei Verfahren lassen sich ionische und/oder metallische Spezies in Form von Reaktionsnebenprodukten und anhaftenden Ausgangsstoffen identifizieren, die zu einer ungewünschten intrinsischen Leitfähigkeit des Polymers führen können. Ein hoher Ionengehalt kann im Transistor zum erhöhten Off-Strom führen, der

die Schaltfähigkeit des Transistors negativ beeinflussen kann.

Eine Reinigung des Polythiophens ist deshalb bei allen drei Routen von größter Bedeutung. Methoden der Wahl sind Fest-Flüssig- und Flüssig-Flüssig-Extraktion, Reinigung durch mehrfache Fällung oder auch Behandlung mit Ionen-absorbierenden Agentien, wobei jeder Hersteller seine Reinigungsschritte natürlich streng vertraulich behandelt. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass die Reinigung der Syntheserohprodukte einen nicht unerheblichen Aufwand erfordert, wenn die Materialien in Polymerelektronikbauteilen eingesetzt werden sollen.

Der Herstellungsprozess

Der Hauptvorteil der gedruckten Elektronik gegenüber der konventionellen Siliziumelektronik ist, dass sich Polymerelektronikbauteile wesentlich einfacher und auch schneller herstellen lassen. Während bei der konventionellen Elektronik hochsaubere Reinräume und aufwendige Vakuum- und Hochtemperaturprozesse benötigt werden, sind die Prozesse der Polymerelektronik wesentlich einfacher. Es gibt zwar verschiedene Ansätze zur Herstellung von Polymerelektronik, die teilweise auch Vakuumprozesse enthalten, jedoch der wirtschaftlich vorteilhafteste und aussichtsreichste Prozess ist die Drucktechnik.

Die für die verschiedenen Transistorebenen benötigten Polymere lassen sich,

vom Substrat abgesehen, in kommerziell erhältlichen organischen Lösungsmitteln lösen und können somit als elektronische Tinte z.B. durch additives Drucken aufgebracht werden [4]. Bedingung ist natürlich, dass die eingesetzten Lösungsmittel nicht die darunterliegenden Schichten an- oder auflösen. Ist dieses gegeben, so ist es möglich, Elektronik in kontinuierlichen Druckprozessen sehr preiswert herzustellen, mehr oder weniger wie beim Zeitungsdruck. Es gibt dabei eine Vielzahl verschiedener Druckverfahren, die sich in Hoch-, Tief- und Flachdruckverfahren einteilen lassen. Die Unterteilung richtet sich hierbei danach, wie das bildgebende Element, z.B. eine Druckwalze, aufgebaut ist. Der Flexodruck gehört zu den Hochdruckverfahren, bei dem sich das zu druckende Bild als erhobene flexible Kunststoffschicht auf der Druckwalze befindet. Der Offsetdruck gehört hingegen zu den Flachdruckverfahren, bei dem das zu druckende Bild auf einer flachen Walze durch unterschiedliche Bereiche definiert ist, die ▶

i	Anwender
PolyIC GmbH & Co. KG Tucherstr. 2 D-90763 Fürth Tel. +49 (0) 0911/20249-0 Fax +49 (0) 0911/20249-8001 www.polyic.com	

wasserabweisend oder -aufnehmend sind. In allen Fällen wird das gewünschte Abbild über eine strukturierte Platte (oder Rolle) auf ein Substrat übertragen.

Die heute üblichen Druckverfahren haben typischerweise Auflösungen größer 100 µm. Für organische Schaltungen werden aus schaltungstechnischen Gründen (s. [4]) jedoch Auflösungen kleiner 20 µm angestrebt. Die gedruckte Elektronik stellt über optische Aspekte hinaus noch weitere Anforderungen an

um übereinander liegende, elektrisch funktionierende Strukturen zu realisieren. Es muss an dieser Stelle auch darauf hingewiesen werden, dass beim Drucken neben der heute üblichen optischen Kontrolle natürlich auch eine entsprechende elektrische Kontrolle direkt in den Druckprozess integriert werden muss, die auch bei hohen Druckgeschwindigkeiten zuverlässig funktioniert.

Da gedruckte RFID-Tags durch modifizierte Print-Technologie mit extrem hohem Durchsatz erzeugt werden können, liegen die Stückkosten in der Serie, wie bereits angedeutet, extrem niedrig. Die beim Einsatzgebiet der RFID-Technologie immer zu erwartenden Fälschungen wären derzeit nicht einmal mit enorm hohem und damit unwirtschaftlichem Aufwand realisierbar, weil das dazu erforderliche produktionstechnische Know-how neuartig und sehr anspruchsvoll ist. Nur die engen Wechselwirkungen zwischen Materialwissenschaft, Elektronik und Drucktechnologie ermöglichen gedruckte organische Elektronik.

Von Produkt-Codes bis zu flexiblen Solarzellen

RFID-Transponder sind ein bedeutendes erstes Anwendungsfeld für gedruckte Elektronik. Neben den einfachsten RFID-Anwendungen wie etwa als Anti-Diebstahlschutz im Supermarkt haben die Produzenten heutzutage auch ein deutliches Interesse daran, ihre Qualitätsmarken zu schützen (Brand Protection, Bild 7) sowie lästige Trittbrettfahrer abzuwehren (Anti-Counterfeit).

Die weitere Entwicklung dieser faszinierenden Technologie wird in Zukunft zum sogenannten „Item Level Tagging“ mit dem „Electronic Product Code“ (EPC) führen, also einer individuellen Numme-



Bild 7. Markenschutz mit gedruckter Elektronik

rierung von nahezu jedem Einzelartikel. Hier wird es so sein, dass auf jedem RFID-Tag eine Seriennummer gespeichert ist. Diese kann nach dem Auslesen mit einer Datenbank abgeglichen werden und liefert die benötigten Informationen.

Mit der neuen Plattformtechnologie der gedruckten organischen Elektronik lässt sich jedoch neben reinen RFID-Anwendungen weitaus mehr realisieren: Auf organischen Polymeren und den entsprechenden Druckprozessen basierend können zahlreiche aktive und auch passive elektrische Bauteile für eine breite Palette von Anwendungen hergestellt werden, wie

- Transistoren,
 - Dioden,
 - Kondensatoren,
 - Leiterbahnen,
 - Widerstände,
 - Solarzellen,
 - Sensoren,
 - Speicher und
 - Batterien.
- Einzelne oder in Kombination lassen sich diese Bauteile zu den unterschiedlichsten Funktionalitäten kombinieren, wie
- Sensoren mit RFID zur Funkauslesung,
 - Sensoren für medizinische Anwendungen (z.B. Blutwert-Tester),
 - flexible Displays,
 - Informationslabel,
 - flexible Solarzellen,
 - Spiele
 - gedruckte Batterien und schließlich auch
 - „Smart Objects“ (Anwendungen mit kombinierten Funktionen).

Diese wenigen Beispiele zeigen das enorme Potenzial der neuen Technologie der gedruckten Elektronik.

Polymerelektronik noch in Entwicklungsphase

Die Polymerelektronik befindet sich trotz der großen Fortschritte in den letzten Jahren immer noch in der Entwicklungspha-

die Drucktechnik. Es werden einerseits zusammenhängende feine Linien als Leiterbahn benötigt, um einen Stromfluss zu ermöglichen, und andererseits sind klar voneinander getrennte Bereiche ohne direkten Kontakt erforderlich, um Kurzschlüsse zu vermeiden.

Alle in Bild 2 gezeigten Schichten haben eine bestimmte elektrische Funktion. Daher können nicht, wie in der Druckwelt üblich, einfach Zusätze zur Anpassung der Druckparameter beigelegt werden, da dies in der Regel die elektrischen Eigenschaften stark negativ beeinflusst. Schließlich muss noch eine sehr hohe Registergenauigkeit (gibt die Positioniergenauigkeit der einzelnen Farben zueinander wieder und ist damit ein Qualitätsmerkmal für den Druck) erreicht werden,

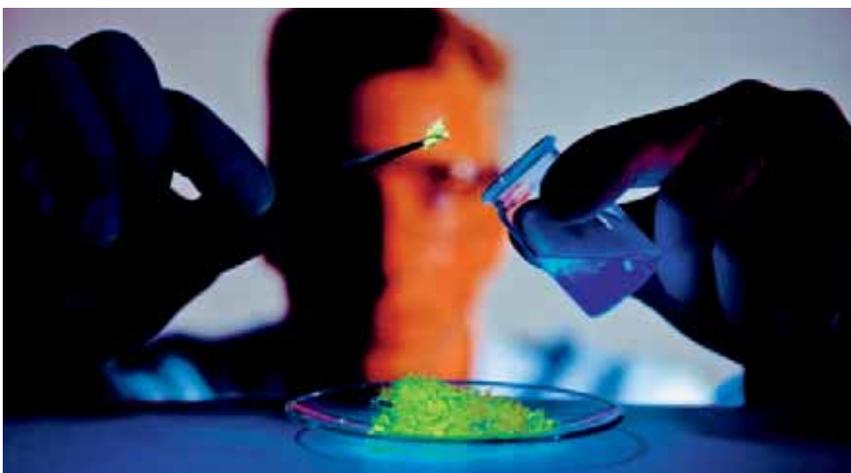


Bild 8. Innovative Produkte durch neue Halbleitermaterialien: erste Laborversuche

se. Es sind zwar bereits erste Produkte kommerziell erhältlich, beispielsweise Displays mit organischen Leuchtdioden oder Batterien sowie Prototypen von integrierten Schaltungen, Solarzellen und Sensoren. Um aber wirkliche Massenmärkte zu erschließen, sind noch weitere Anstrengungen auf den Gebieten Material, Technologie und Produktionsprozess notwendig.

Die elektrischen und elektronischen Parameter der hier betrachteten Funkti-



Bild 9. Erste gedruckte Elektronikprodukte von der Rolle (PolyID RFID-Tag)

onpolymere haben im Vergleich mit herkömmlichen anorganischen Materialien wie Silizium oder Galliumarsenid noch Potenzial zur Verbesserung. Dies betrifft z.B. die intrinsische Leitfähigkeit, die Ladungsträgerbeweglichkeit, aber auch die Lebensdauer. In all diesen Bereichen besteht noch großer Forschungsbedarf. Bestes Beispiel hierfür ist die wachsende Nachfrage nach n-leitenden organischen Halbleitern (hier erfolgt die Leitfähigkeit über freie Elektronen). Die meisten dieser „n-type“-Materialien sind jedoch nicht luftstabil und müssten im Bauelement aufwendig gekapselt werden. Bezüglich stabiler Halbleiter sind über den Labormaßstab hinaus derzeit eigentlich nur p-leitende Kunststoffe verfügbar (hier erfolgt die Leitung über Defektelektronen, sogenannte Löcher). Für eine leistungsfähige Elektronik ist jedoch die

Kombination beider Materialklassen, also „p- und n-type“-Materialien, zu einer Art CMOS-Technik vonnöten, ähnlich wie man sie in der heutigen Siliziumelektronik findet. Bedingt durch den angesprochenen momentanen Mangel an effizienten organischen n-Halbleitern muss parallel dazu auch die Entwicklung der Schaltungstechnik mit reinen p-Halbleitern vorangetrieben werden (Bild 8).

Erste Produkte in diesem Jahr

Die Polymerelektronik ist eine neue Plattformtechnologie für eine neue Art von Elektronikbauteilen, basierend auf elektrisch leitenden, halbleitenden und isolierenden organischen Materialien. Diese Elektronik gilt nicht als Konkurrenz zur bestehenden Silizium-basierten Elektronik, sondern bietet eher große Möglichkeiten für ganz neue Anwendungen, bei denen Flexibilität, geringe Kosten, hohe Stückzahlen und Integrierbarkeit in Verpackungen gefragt sind.

Die moderne Drucktechnologie bietet enorme Möglichkeiten für den Einsatz der Polymerelektronik in den verschiedensten Gebieten. Hiermit lässt sich der eigentliche Vorteil der Polymerelektronik erst ausspielen: dünne, flexible Elektronikbauteile auf flexiblen Substraten, in großen Stückzahlen, preiswert und für neue Massenmärkte. Allerdings muss noch viel in die Entwicklung geeigneter Prozesse investiert werden, da eine elektrische Funktionalität in der Drucktechnik bisher Neuland darstellt. Der Anfang ist jedoch gemacht: Von PolyIC werden erste gedruckte Elektronik-Produkte von der Rolle im Verlauf des Jahres 2007 erwartet (Bild 9). ■

LITERATUR

- 1 Pressemitteilung PolyIC GmbH & Co. KG, Fürth, September 2006

- 2 Rost, H. u.a.: Air-stable all-polymer field-effect transistors with organic electrodes. *Synth. Metals* 145 (2004) (1), S. 83-85
- 3 Fix, W. u.a.: Fast polymer integrated circuits. *Appl. Phys. Lett.* 81 (9) (2002) S.1735-1737
- 4 Rost, H.: Vom Polymer-Transistor zur gedruckten Elektronik. *Kunststoffe* 95 (2005) 10, S. 209-214
- 5 Böhm, M. u.a.: Printable Electronics for Polymer RFID Applications. *IEEE International Solid-State Circuits Conference 2006, Digest of technical paper* (2006) S. 270-271
- 6 McCullough, R.D. u.a.: Enhanced Electrical Conductivity in Regioselectively Synthesized Poly(3-alkylthiophenes). *J. Chem Soc, Chem Commun.* (1992) S. 70-72
- 7 Rieke, R.D. u.a.: The first Regioregular Head-to-Tail Poly(3-hexylthiophene-2,5-diyl) and a Regiorandom Isopolymer: Ni vs Pd Catalysis of 2(5)-Bromo-5(2)-(bromozincio)-3-hexylthiophene Polymerization. *J. Am. Chem. Soc.* 114 (1992) S. 10087-10088
- 8 McCullough, R.D. u.a.: A Very Simple Method to Prepare Head-to-Tail Coupled, Regioregular Poly(3-alkylthiophenes) Using Grignard Metathesis. *Adv. Mat.* 11 (1999) S. 250-253

DER AUTOR

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

SUMMARY KUNSTSTOFFE INTERNATIONAL

Off the Reel

PRINTED ELECTRONIC CIRCUITS. With organic electronics, an exciting new technology has emerged. For example, printed RFID tags represent a practically fraud-proof method for product identification. Application areas range from cost-effective theft prevention up to complex electronic product codes (EPC).

NOTE: You can read the complete article by entering the document number **PE103881** on our website at www.kunststoffe-international.com



Spezielle LED-Leuchtsysteme besitzen einen Kühlkörper aus einem wärmeleitfähigen Kunststoffcompound, der die Montage erheblich vereinfacht und so die Herstellungskosten reduziert

Wärmeleitfähige Compounds.

Beleuchtungssysteme auf Basis von LEDs finden immer größere Verbreitung. Ob in Autoscheinwerfern, bei der Straßenbeleuchtung, in Signalanlagen und Leuchten für Büro und Haushalt – überall finden sich heutzutage die kleinen und robusten Leuchtdioden. Die rationelle und kostengünstige Fertigung von LED-Leuchten ermöglicht unter anderem ein mit Keramikpulver gefülltes Polyamid 12.

LED-Kühlkörper wirtschaftlich herstellen

LUCA POSCA

Produktionskosten senken

LEDs (Licht emittierende Dioden) bieten gegenüber herkömmlichen Glühlampen eine Vielzahl von Vorteilen. Neben einem niedrigen Stromverbrauch zeichnen sie sich u. a. durch eine sehr hohe Lebensdauer aus. Zum Vergleich: Eine Glühlampe hält ca. 4000 h, eine LED dagegen bis zu 100 000 h. Moderne Hochleistungs-LEDs haben eine Lichtausbeute von 60 bis 80 lm/W und damit einen Wirkungsgrad von über 30 % (Glühlampe: 5 bis 10 %). Sie eignen sich somit für Beleuchtungseinrichtungen aller Art wie Autoscheinwerfer, Straßenbeleuchtungen, Signalanlagen, Leuchtreklamen sowie für Leuchten im Privathaushalt und Büro. Aufgrund ihres niedrigen Energieverbrauchs und ihres geringen Wartungsaufwands ermöglichen sie ein hohes wirtschaftliches Einsparpotenzial. Daher hat sich die LED-Technik in den letzten Jahren sehr schnell weiterentwickelt, und die Nachfrage nach Leuchten mit LEDs als Leuchtmittel wächst anhaltend.

Das norditalienische Unternehmen Idealed, Creazzo, hat sich auf die Entwicklung und Herstellung von Beleuchtungssystemen auf Basis von LEDs spezialisiert. Die neuesten Produkte besitzen einen Kühlkörper aus einem wärmeleitfähigen Kunststoffcompound, den die Lati Industria Termoplastici S. p. A., Vedano Olona/Italien, in enger Zusammenarbeit mit Idealed entwickelt hat. So ließen sich die Herstellungs- und Montagekosten für die Leuchtmittel signifikant reduzieren, da der Kühlkörper direkt im Spritzgießverfahren auf die mit den LEDs bestückte Leiterplatte aufgebracht wird. Im selben Arbeitsgang wird die Elektronik mit einer transparenten Versiegelung aus Silikon überspritzt und somit hermetisch gegen Feuchtigkeit und Verschmutzungen abgedichtet (Bild 1).

Eine LED wandelt ca. 30 % der zugeführten elektrischen Energie in Licht um, den Rest in Wärme. Allerdings wird die Wärme nicht in Form von Infrarotstrahlung an die Umgebung abgegeben, son-

dern entsteht vielmehr funktionsbedingt im Inneren der aus Halbleitermaterial bestehenden Leuchtdiode. Sie kann sowohl die Lichtfarbe beeinträchtigen als auch die Lebensdauer erheblich verkürzen und muss daher zuverlässig abgeleitet werden. Zu diesem Zweck werden die Leiterplatten mit den LEDs auf Kühlkörper montiert, die früher üblicherweise aus Metall, meist Aluminium, bestanden. Die typischen Fertigungsverfahren wie Profiltrusion oder Aluminiumdruckguss sind für die Herstellung großer Stückzahlen geeignet. Kundenspezifische oder innovative Designs lassen sich damit aber nur schwer realisieren. Daher suchte Idealed nach einem Kunststoff, der die Herstellung der Kühlkörper und damit der Leuchtsysteme flexibler, rationeller und kostengünstiger machen sollte.

Metallähnliche Eigenschaften, gute Verarbeitbarkeit

Neben einer hohen Wärmeleitfähigkeit waren die Anforderungen an den Kunststoff u. a.:

- hohe Dimensionsstabilität,
- Wärmeausdehnungskoeffizient ähnlich dem von Metallen,
- thermische Beständigkeit bis 100 °C sowie
- einfache Verarbeitbarkeit auf herkömmlichen Spritzgießmaschinen.

Da die LED-Leuchten von Idealed auch in rauen Umgebungen zum Einsatz kommen können, benötigt der Werkstoff gute mechanische Eigenschaften, eine hohe Schlagzähigkeit und muss beständig gegenüber Chemikalien und Feuchtigkeit sein.

Als Basismaterial für das wärmeleitfähige Compound wählte Lati Polyamid 12 (PA 12). In diesen Hochleistungskunststoff lässt sich ein hoher Füllstoffanteil einarbeiten, ohne dass es beim späteren Spritzgießen zu einer Entmischung zwischen der Polymermatrix und dem Füllstoff kommt.

Um die Wärmeleitfähigkeit von Kunststoffen zu erhöhen, müssen sie mit thermisch leitfähigen Partikeln gefüllt werden, z. B. Glas- oder Kohlefasern, Graphit-, Metalloxid- oder Keramikpulver. Dabei steigt die Wärmeleitfähigkeit exponentiell mit dem Füllstoffgehalt. Der Einsatz von Fasern jedweder Art kam im vorliegenden Fall nicht in Frage, weil sie zu einem anisotropen thermischen Ausdehnungsverhalten des Kühlkörpers führen würden. Dadurch kann es zu Rissen in der Leiterplatte sowie zum Aufbrechen der Lötstellen und damit der elektrischen Verbindungen kommen. Auch der Einsatz von Graphit wurde verworfen, da die Kühlkörper gleichzeitig zur elektrischen Isolation dienen sollen.

Keramikpulver als Lösung

Als thermisch günstigste Lösung erwies sich eine Mischung aus verschiedenen Keramikpulvern, die mit Hilfe eines speziel-

len Compoundierprozesses in das Polyamid eingebracht werden. Für eine effiziente Wärmeableitung im Kunststoff ist eine feine und gleichmäßige Verteilung der Keramikpartikel in der Polymermatrix erforderlich – je mehr Kontakte zwischen den Füllstoffteilchen bestehen, desto besser kann die Wärme innerhalb des Compounds transportiert werden (Bild 2).

Die resultierende Wärmeleitfähigkeit der Werkstoffe, die Lati unter dem Namen Laticonther kommerzialisiert hat, beträgt mehr als 2 W/m·K und ist damit rund zehnmal so hoch wie die von ungefüllten Kunststoffen. Für die hier beschriebene LED-Anwendung kommt ein Typ mit 85 Gew.-% Keramikpulver zum Einsatz.

Da das Material aufgrund des hohen Keramikanteils sehr spröde ist, testete

Einfluss auf die Wärmeleitfähigkeit des Kunststoffs.

Kühlkörperdesign optimieren

Zur Optimierung des Kühlkörperdesigns führte Lati in enger Zusammenarbeit mit Idealed eine Reihe von Finite-Elemente-Analysen durch. Dazu wurden die folgenden Parameter festgelegt:

- Umgebungstemperatur: 25 °C,
- Leistungsaufnahme pro LED: 3 W,
- Wirkungsgrad einer LED: 30 %,
- max. LED-Temperatur: 80 °C,
- der Werkstoff verhält sich vollständig isotrop.

Die Wärmeableitung sollte zudem möglichst durch natürliche Konvektion erfolgen, also ohne Unterstützung durch

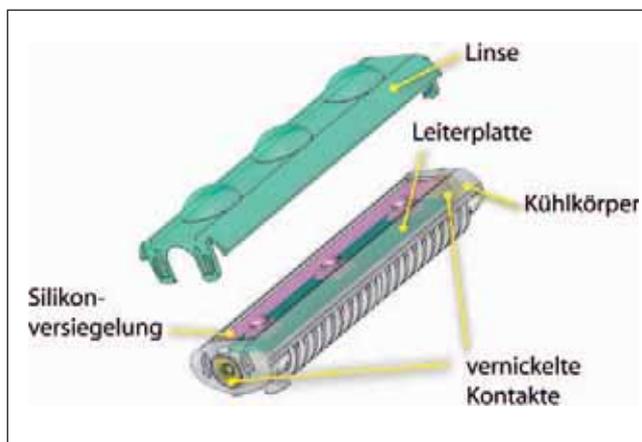


Bild 1. Der Kühlkörper wird direkt auf die Leiterplatte und um die vernickelten Kontakte gespritzt; gleichzeitig wird eine Silikonversiegelung aufgebracht, um die Elektronik zu schützen

Lati verschiedene Elastomere, die dem Kunststoff in geringen Konzentrationen beigemischt wurden. Dies verhindert, dass die Bauteile zum Beispiel beim Entformen nach dem Spritzgießen allzu leicht brechen. Das letztendlich eingesetzte Additiv lässt sich gut in der Polymermatrix dispergieren und hat keinen

zusätzliche Lüfter oder andere aktive Kühlelemente. Simulationen zum thermischen Verhalten ergaben eine optimale Dicke der Kühlrippen von 1,5 mm bei einem Abstand von 3 mm. Bauteile mit dieser Geometrie besitzen eine gute Wärmeableitung und lassen sich problemlos durch Spritzgießen herstellen.

Anschließend untersuchte Lati mit Hilfe eines Modells, das anhand der vorausgegangenen Analysen erstellt wurde, verschiedene Werkstoffe, um deren thermische Ableitung und damit deren Eignung als Material für die Kühlkörper zu bestimmen (Bild 3). Verglichen wurden Aluminium, ein mit 30 Gew.-% Glasfasern gefülltes PA 66 und Laticonther mit 85 Gew.-% Keramikpulver. Der Test zeigte, dass sich Letzteres mit einer Temperatur von 65 °C direkt an der LED und 45 °C an der Oberfläche der Kühlrippen sehr gut für diese Anwendung eignet. Das glasfaserverstärkte Polyamid wies mit einer LED-Temperatur von 150 °C den schlechtesten Wert auf, während Aluminium mit 37 °C am besten abschnitt.

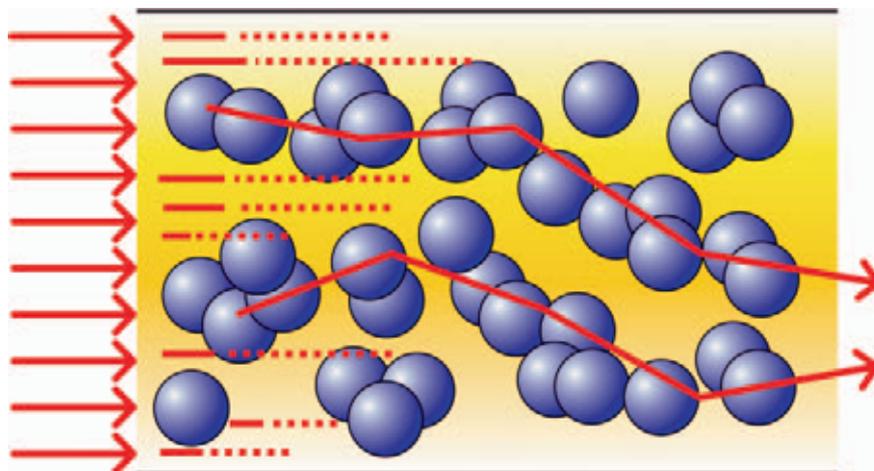


Bild 2. Je mehr Kontaktstellen zwischen den Keramikpartikeln existieren, desto besser ist die Wärmeleitfähigkeit des fertigen Compounds

Fertigungsparameter anpassen

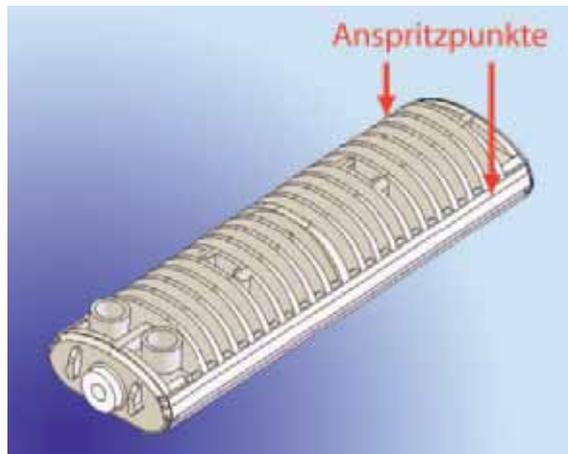
Aufgrund des hohen Gehalts an Keramikpulver und der besonderen thermischen Eigenschaften des Kunststoffs folgte im Anschluss eine genaue Untersuchung der Verarbeitungseigenschaften, um die optimalen Fertigungsparameter zu ermitteln.

Die Besonderheit ist hier, dass die Formmasse durch den geringen Wärmeinhalt und die hohe Wärmeleitfähigkeit des Compounds sehr schnell abkühlt. Zudem ist die Schmelze nur schwer fließend. Die Verarbeitungsbedingungen waren so zu wählen, dass sich eine gleichmäßige Schwindung und keine unerwünschten Verformungen ergeben und sich die Spritzlinge zuverlässig und betriebssicher entformen lassen. Darüber hinaus musste ein hoher Abrieb an Schnecken, Düsen und an den Werkzeugen durch den Einsatz von gehärteten und verschleißfesten Stählen verhindert werden.

Bild 3. Durch FEM-Simulation optimiertes Kühlkörperdesign (oben); Wärmeverteilung innerhalb des Kühlkörpers (unten)



Bild 4. Die Lage der beiden seitlichen Anspritzpunkte wurde so gewählt, dass sich die Kavität im Bereich der Grundplatte des Kühlkörpers schnell füllt, während die Kühlrippen selbst zunächst noch ungefüllt bleiben



Aufgrund der spezifischen Formgebung des Kühlkörpers kommt es beim Abkühlen der Formmasse zu ungleichmäßiger Schwindung und daher zu Verformungen des Spritzlings (Bild 5). Eine zu große Deformation des Formteils muss unbedingt vermieden werden, weil die Leiterplatte ansonsten brechen und sich die aufgespritzte Silikon-Versiegelung ablösen kann. Darüber hinaus führt die Verformung des Kühlkörpers zu hohen Spannungen innerhalb des Formteils. Um Spannungsrisse und vorzeitiges Versagen zu vermeiden, werden die fertigen Bauteile daher einem Temperprozess unterzogen.

Um das Füllen der Kavität zu beschleunigen und ein Einfrieren der Schmelze bereits im Fließkanal oder Anguss zu vermeiden, wählte man zwei seitliche Anspritzpunkte mit einem relativ großen, rechteckigen Anschnitt von 4 mal 3 mm und jeweils einem kurzen, trapezförmigen Anguss.

Simulationen des Formfüllverhaltens des Compounds ergaben eine optimale Schmelzetemperatur von 255 °C und eine Werkzeugtemperatur von 70 °C. Die Lage der beiden Anspritzpunkte (Bild 4) wurde so gewählt, dass sich die Kavität im Bereich der Grundplatte des Kühlkörpers schnell füllt, während die Kühlrippen selbst zunächst noch ungefüllt bleiben. Die Kühlrippen werden erst in der letzten Phase gefüllt, wenn die Scherrate in der Schmelze sehr hoch ist und durch höhere Reibung die Temperatur und damit die Fließfähigkeit der Schmelze kurzfristig zunimmt.

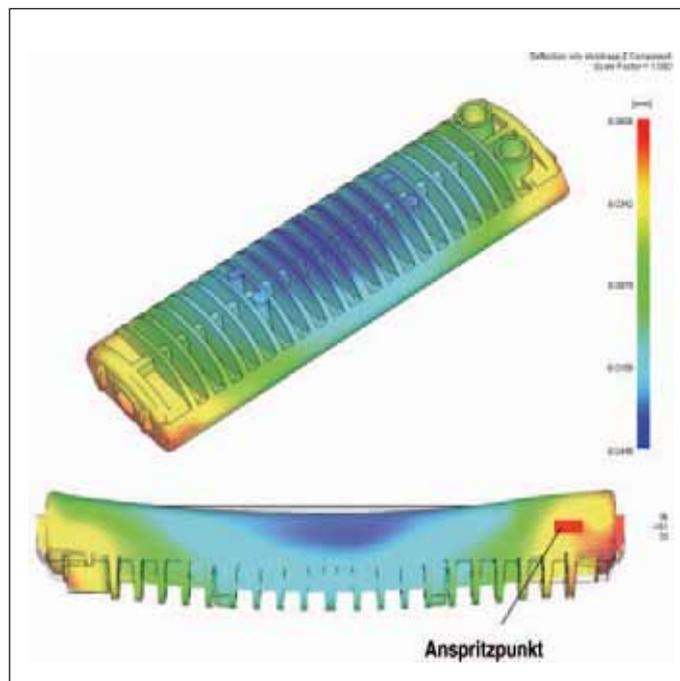


Bild 5. Durch die besondere Geometrie des Kühlkörpers kommt es zur ungleichmäßigen Schwindung beim Abkühlen der Formmasse und damit zu Verformungen

**Hersteller**

Lati Industria Termoplastici S.p.A.
 Via F. Baracca 7
 I-21040 Vedano Olona
 Italien
 Tel. +39 (0) 3 32/40-9111
 Fax +39 (0) 3 32/40-9307
 www.lati.com

Da die Formteile sehr schnell abkühlen und der Werkstoff wegen des hohen Anteils an Keramikpulver sehr spröde ist, kam es bei den ersten Versuchen häufig zu Brüchen während der Entformung. Zur Lösung dieses Problems verkürzte man die Abkühlzeit, polierte die Werkzeugoberfläche auf eine Rauigkeit von 0,40 Ra und stellte eine Entformungsschräge von 3 bis 5° ein.

Fazit

LEDs können herkömmliche Leuchtmittel in vielen Bereichen ersetzen. Ihre längere Lebensdauer und geringe Wartungskosten führen zu erheblichen finanziellen Einsparungen im laufenden Betrieb. Durch den Einsatz wärmeleitfähiger Kunststoffe kann die Fertigung von LED-Leuchtsystemen rationalisiert und können die Produktionskosten und damit die Anschaffungskosten erheblich reduziert werden. Für den Erfolg eines solchen Projekts ist eine enge Zusammenarbeit zwischen Werkstofflieferant und Hersteller unabdingbar. ■

DER AUTOR

DR.-ING. LUCA POSCA ist Technical Marketing Manager bei Lati Industria Termoplastici S.p.A., Vedano Olona/Italien.

SUMMARY KUNSTSTOFFE INTERNATIONAL**Economical Production of Heat Sinks for LEDs**

THERMALLY CONDUCTIVE COMPOUNDS. *Lighting systems based on LEDs are being used ever more widely. Compact and rugged LEDs can be found everywhere today - whether in automotive headlights, street lamps, traffic signals or office and household lighting. A ceramic powder-filler polyamide 12 contributes to economical and cost-effective production of LED lighting.*

NOTE: You can read the complete article by entering the document number PE103879 on our website at www.kunststoffe-international.com

Strahlend von innen heraus

PC-Folie. Während herkömmliche Alu-Kennzeichen von außen durch wenige Lämpchen eher ungleichmäßig angestrahlt werden, leuchtet ein neues Kunststoff-Nummernschild gut sichtbar hell und vollflächig von innen heraus. Der Wegfall der äußeren Beleuchtungselemente schafft nicht nur Platz für ein individuelleres Heckdesign. Auch die Sicherheit profitiert. Weil das Nummernschild deutlicher wahrgenommen wird, leistet es einen Beitrag zur Vermeidung von Auffahrunfällen. Bei der Entwicklung der gesamten Baugruppe hat Bayer MaterialScience eng mit 3M kooperiert und eine Lösung mit mehreren Werkstoffen erarbeitet. So wurde beispielsweise eine spezielle transparente Polycarbonat-Folie aus dem Produktsortiment Makrolon/Bayfol maßgeschneidert. Sie trägt die retroreflektierende Folie von 3M, die das Licht gleichmäßig auf der Kennzeichenoberfläche verteilt.

Das Nummernschildgehäuse, in das mehrere Licht emittierende Dioden (LEDs) als Lichtquelle integriert sind, besteht aus Bayblend T 65. Das (PC+ABS)-Blend wird eingesetzt, weil es eine hohe Dimensionsstabilität zeigt, nur wenig zum Verzug neigt und auch in der Kälte noch schlagzäh ist. Hinzu kommt seine hohe Wärmeformbeständigkeit. Die transluzente Vorderfront des Gehäuses, auf die das eigentliche Kennzeichen aufgesetzt wird, bildet eine 2 mm dicke Platte aus dem Polycarbonat Makrolon. Diese ist mit einer speziellen Technologie einseitig mat-



Eine spezielle transparente Polycarbonat-Folie trägt die reflektorische Folie, die das Licht gleichmäßig auf der Kennzeichenoberfläche verteilt

tiert, um eine optische Entkopplung vom eingesetzten Lichtverteilersystem zu erreichen. Weiterhin ist die Platte mit einer besonderen Oberflächenschicht ausgestattet, die ein dauerhaft dichtes Verschweißen der Platte mit dem Gehäuse durch Laserstrahlschweißen ermöglicht.

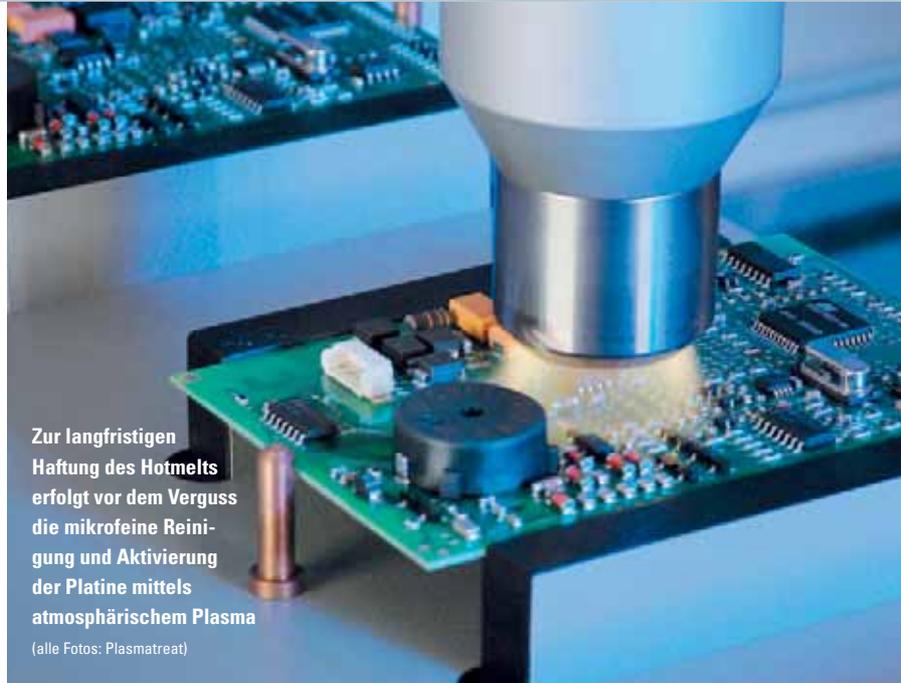
Den Aufbau schließt nach außen hin das eigentliche Kennzeichen ab – ein Laminat aus der retroreflektierenden, transluzenten Spezialfolie von 3M und der Trägerfolie von Bayer MaterialScience. Die Polycarbonat-Folie erhielt nach Aussagen des Herstellers aus mehreren Gründen den Vorzug

vor anderen Materialien: So ergäbe sie einen festen Verbund mit der Deckfolie von 3M. Außerdem sei sie sehr lichtdurchlässig, mechanisch über einen breiten Temperaturbereich belastbar und beständig gegen autotypische Chemikalien. Wichtig für den Alltag in den Schilderwerkstätten im Umfeld der Kfz-Zulassungsstellen sei auch, dass sich die Folie auf den einfachen, herkömmlichen Anlagen, die zum Kaltprägen der Kennzeichen verwendet werden, verzugssarm verformen lässt.

► www.bayerbms.de

► www.3m.com

Atmosphärisches Plasma. Um elektronische Schaltungen und Bauteile vor Staub und Feuchtigkeit zu schützen, müssen sie zuverlässig gekapselt werden. Vor wenigen Jahren nur in der Automobilbranche eingesetzt, nutzen heute zahlreiche Elektronikunternehmen die Openair-Plasma-Technologie zur Vorbehandlung ihrer Bauteiloberflächen.



Zur langfristigen Haftung des Hotmelts erfolgt vor dem Verguss die mikrofeine Reinigung und Aktivierung der Platine mittels atmosphärischem Plasma
(alle Fotos: Plasmareat)

Keine Chance für Undichtigkeiten

PETER LANGHOF

Ob in der täglichen Fertigung oder bei der Entwicklung neuer Verfahren und Produkte: Oberflächen und ihre Eigenschaften spielen in fast allen Industriebereichen eine immer wichtigere Rolle. Dabei müssen die Oberflächen der verwendeten Materialien oft vorbehandelt werden, um ihnen zusätzliche Eigenschaften zu verleihen, die sie für weitere Anwendungsbereiche qualifizieren. Mithilfe des Openair-Plasmas las-

sen sich neue Oberflächeneigenschaften erzeugen und bestehende Fertigungsprozesse optimieren. Das durch spezielle Düsen aufgebrauchte atmosphärische Plasma bewirkt die mikrofeine Reinigung und hohe Aktivierung der unterschiedlichsten Oberflächen und erzielt die optimale Haftung von Lacken, Farben oder Klebstoffen, wie beispielsweise den in der Elektronik häufig verwendeten Epoxidklebstoffen oder Hotmelts.

Das Verfahren erlaubt flächendeckend oder partiell einen kontinuierlichen In-

line-Betrieb mit hohen Geschwindigkeiten. Wird die Düse durch einen Roboter geführt, so können punktgenaue lokale Effekte erzielt und feinste Konturen gereinigt, aktiviert und beschichtet werden. Nicht selten erlaubt erst die maßgeschneiderte Oberflächenbehandlung eines Werkstoffs mit Atmosphärendruck-Plasma seinen Einsatz.

Elektrisch neutraler Plasmastrahl

Die auf einem Düsenprinzip basierenden Systeme arbeiten bei Atmosphärendruck und erzeugen mithilfe eines in der Düse gezündeten Lichtbogens und des Arbeitsgases Luft ein Plasma, das potentialfrei auf das zu behandelnde Produkt strömt (Bild 1). Es besitzt ausreichend angeregte Teilchen, um gezielte Effekte auf der Oberfläche einzuleiten (Bild 2).

Als besonderes Merkmal ist der austretende Plasmastrahl elektrisch neutral, wodurch sich die Anwendbarkeit stark erweitert und vereinfacht. Seine Intensität ist so hoch, dass Bearbeitungsgeschwindigkeiten von mehreren 100 m/min erreicht werden können. Die typischen Erwärmungen von Kunststoffoberflächen betragen während der Behandlung weniger als 20°C. Das Openair-System wirkt dreifach: Es aktiviert die Oberfläche durch gezielte Oxidationsprozesse, entlädt sie gleichzeitig und führt zu einer mikrofeinen Reinigung. Die verwendeten Düsen-systeme können inline in eine neue oder bereits bestehende Fertigungslinie integriert werden. Durch den Prozess der Ent-

Effekt der Plasmabehandlung

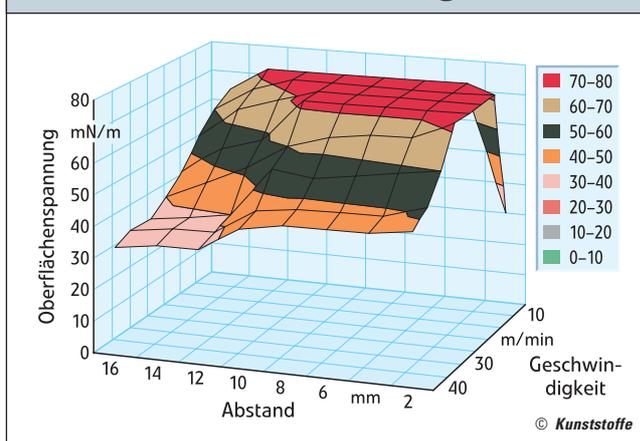


Bild 2. Dargestellt ist eine Kunststoffoberfläche, die in Abhängigkeit von Abstand und Geschwindigkeit mit Plasma vorbehandelt wurde. Die Oberfläche wird nach der Behandlung polar und die Oberflächenspannung steigt auf >72 mN/m bei großem Prozessfenster

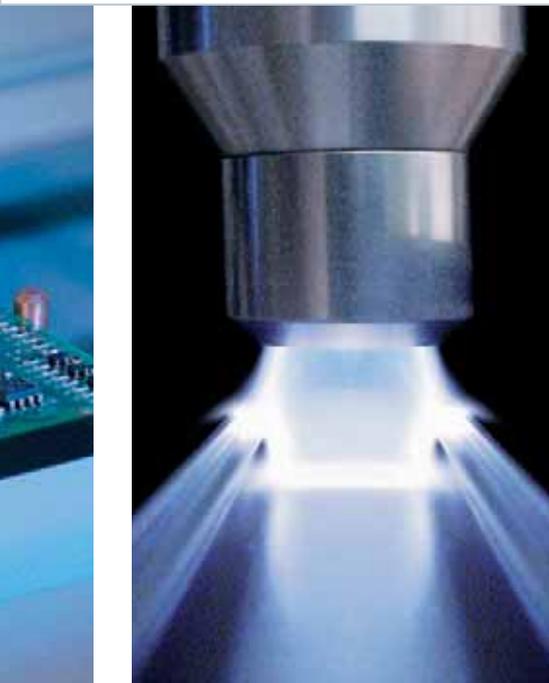


Bild 1. Der elektrisch neutrale Openair-Plasmastrahl ermöglicht die mikrofeine Reinigung, hohe Aktivierung und hauchdünne Beschichtung von Oberflächen

ladung von Oberflächen bietet das Openair-Plasmasystem Reinigungseffekte, die konventionelle Systeme bei Weitem übertreffen. Der Anwender macht sich hier die

hohe elektrostatische Entladungswirkung eines freien Plasmastrahls zunutze. Dieser Effekt wird zusätzlich positiv durch die sehr hohe Ausströmungsgeschwindigkeit des Plasmas beeinflusst, wodurch auch lose anhaftende Partikel effektiv von der Oberfläche entfernt werden.

Ob Metall- oder Kunststoffoberfläche, die Geometrien der Werkstücke werden immer anspruchsvoller. Mit der Möglichkeit, die Spitzen der Plasmadüse problemlos der Werkstückgeometrie anzupassen, eröffnet sich dem Verfahren ein breites Anwendungsspektrum. Diese Anpassung ist besonders dann von Bedeutung, wenn sehr komplexe, dreidimensionale Geometrien mit vielen Hinterschnitten vorbehandelt werden müssen.

Automobilelektronik

Elektronische Bauteile werden im Automobilbau zunehmend wichtiger. Die meisten Neuerungen basieren auf elektronischen Lösungen. Mit dem Einsatz von Openair-Plasma schützen namhafte Zulieferer ihre hochsensiblen Sensoren und Steuerungselemente. Diese übernehmen wichtige Aufgaben, wie z. B. das Motor- oder Klimamanagement, regeln

Brems- und Fahrwerksysteme oder steuern das Beleuchtungssystem. Gemäß der IEC-Norm und den IP-Schutzarten müssen die Sensoren und Steuerungselemente vor dem Eindringen von Feuchtigkeit und Verschmutzung geschützt werden.

Die möglichen Gefahren für die Automobilelektronik sind vielfältig, die Ansprüche an die Dichtigkeit der Schutzgehäuse aus Kunststoff entsprechend hoch: Temperaturschwankungen von -40°C bis zu $+140^{\circ}\text{C}$ im Testverfahren müssen von der Elektronik ausgehalten, jegliche Feuchtigkeit, Flüssigkeiten und Chemikalien von ihr ferngehalten werden. Um eine höchstmögliche Dichtung zu erreichen, werden die Fügeflächen der Elektronikverpackung vor dem Aufbringen des Klebstoffs mit Plasma behandelt. Diese Vorbehandlung reinigt und aktiviert die Gehäuseflächen so stark, dass die anschließende Klebeverbindung durch ihre erhöhten Haftungseigenschaften eine absolute Dichtigkeit gegen das Eindringen von schädlichen Einflussfaktoren gewährleistet und die Gefahr von Kurzschlüssen, Fehlfunktionen und einer eventuellen langfristigen Zerstörung praktisch eliminiert wird (Bild 3). Die Plasmavorbehandlung sorgt nicht nur für eine hohe ►



Bild 3. Die Vorbehandlung und Aktivierung der Gehäusefügeflächen – vor dem Aufbringen des Klebstoffs – mit Openair-Plasma bewirkt eine optimale Dichtigkeit der Elektronikverpackung

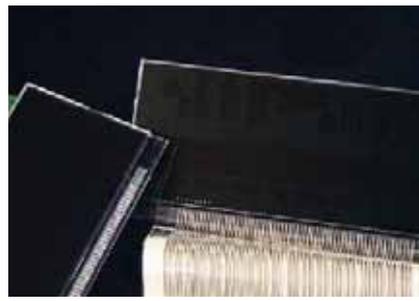


Bild 4. Hohe Adhäsion nach der Plasmabehandlung: LCD mit Heißsiegelfolie (rechts) und nach dem Abreißen der Folie (verbleibender Folienstreifen, links)

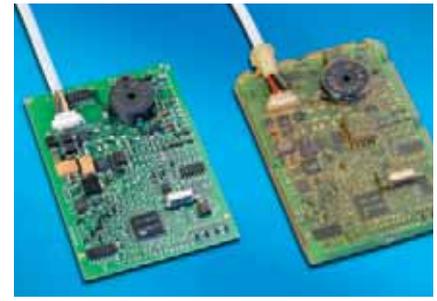


Bild 5. Vor dem Umspritzen werden die Baugruppen mit Openair-Plasma vollflächig behandelt (links). Die anschließende Versiegelung mit Hotmelt schützt die Platte vor Feuchtigkeit und mechanischer Beschädigung (rechts)

Qualität, sie ist zudem inline-fähig, kontrollier- bzw. überwachbar und der Prozess durch gleich bleibende Parameter reproduzierbar entsprechend der ISO 9000.

Saubere Displays

Wo Vibrationen auftreten – sei es beim Automobil, Autoradio oder Bordcomputer, beim mobilen Telefon, einem Taschenrechner oder dem Computermonitor – werden Displays mit einer Folie im Heißsiegelverfahren kontaktiert. Sie bildet die flexible Verbindung zwischen der Leiterplatte und der Kontaktfläche, dem eigentlichen Display, welches meist aus zwei dünnen Glasscheiben besteht. Die Verklebung der Folie erfolgt auf der mit ITO (Indium-Zinnoxid) beschichteten Scheibe. Glasflächen verschmutzen jedoch leicht, sei es bei der Verpackung, Lagerung, der Handhabung oder dem Transport. Fingerabdrücke oder Staub auf den Glasflächen sind ohne zusätzliche Reinigung kaum zu vermeiden.

Die kurz- oder langfristige Folge dieser Verschmutzungen sind Segmentfehler, die sich meist dadurch äußern, dass im Display zu wenig oder auch zu viele Anzeigen erscheinen. Die Gründe sind immer die gleichen: Die Folie haftet schlecht und vorhandene Partikel verursachen Kurzschlüsse. Die herkömmliche Reinigung der Displaygläser erfolgt in den meisten Fertigungsprozessen manuell mithilfe eines Wattestäbchens und Lösungsmitteln. Eine Ausschussrate von 12 % ist dabei üblich. Dagegen sinkt bei den Herstellern, die eine Reinigung der Displays mittels einer Vorbehandlung mit atmosphärischem Plasma vornehmen, die Ausschussrate auf kleiner 1 % (Bild 4). Hinzu kommt, dass Schutzfolie, ITO-Schicht und Polfilter durch die schonende, potenzialfreie Behandlung nicht beschädigt werden und der gesamte Inline-Prozess wie auch bei der Platinenreinigung umweltfreundlich sowie überwacht- und reproduzierbar ist.

Erfüllung von Schutzrichtlinien

Elektronik im Außenbereich bedarf eines hohen Schutzes, da sie Witterungseinflüssen ständig ausgesetzt ist. Ganz besonderen Wert auf die Openair-Plasmabehandlung legt der renommierte Sicherungslagenhersteller, die zur Honeywell Security AG gehörende Novar GmbH, Albstadt, bei der Fertigung seiner hochwertigen Alarmsysteme. Anders als bei den Steuerungselementen im Auto, die jederzeit wieder erreichbar sein müssen und deshalb in einem abgedichteten Gehäuse verpackt werden, erfolgt hier nach dem Lötprozess ein Elektronikverguss mithilfe von Schmelzklebstoff, um die bestückten Leiterplatten vor Feuchtigkeit oder mechanischer Beschädigung zu schützen (Titelbild). Ohne Vorbehandlung jedoch haftet der Klebstoff nicht auf dem Untergrund oder löst sich nach einer Weile wieder. Auch hier hilft eine reinigende Vorbehandlung mit Atmosphärendruckplasma. Die Plasmadüse führt den Strahl über jeden Quadratzentimeter der Platine. Die mikrofeine Reinigung führt dazu, dass nach dem anschließenden Aufbringen des Hotmelts dieser so gut haftet, dass die höchsten internationalen Schutzarten IP 68 und sogar die relativ neue IP 69K erreicht werden, wobei es bei letzterer vor allem um die Beständigkeit von elektrischen Betriebsmitteln gegen Hochdruckstrahl-Reinigung geht (Bild 5). Nach ihrer Fertigstellung wird eine solche Leiterplatte in ein zusätzliches Gehäuse eingesetzt und dient als Tastatur

im Eingangs-Außenbereich einer kompletten, sehr komplexen Gebäude-Einbruchsmeldetchnik. Ein Versagen dieser Tastatur könnte eine Störung der Sicherheitsanlage zur Folge haben, ein Grund warum Honeywell – weit über die Ansprüche der Norm hinaus – jede einzelne Platine einem zwölfstündigen Unterwasser-Funktionstest unterwirft.

Fazit

Die Openair-Plasmatechnologie gehört in der Elektronikindustrie zu den neuen Verfahren, um Bauteile und Schaltkreise während der Herstellung und/oder Konfektionierung zu bearbeiten. Hohe Reinheitsanforderungen werden dabei ebenso realisiert wie eine potenzialfreie Behandlung, d.h. die Schaltungen kommen während der Plasmabehandlung nicht mit elektrischer Spannung in Berührung. ■

DER AUTOR

PETER LANGHOF, geb. 1964, lernte Maschinenbau und spezialisierte sich schon früh auf den Fachbereich Elektronik. In seiner heutigen Funktion als Key Account Manager bei der Plasmatrete GmbH, Steinhagen, betreut er weltweit Hersteller von elektrotechnischen Produkten; peter.langhof@plasmatrete.de

SUMMARY KUNSTSTOFFE INTERNATIONAL

Give Leaks No Chance

ATMOSPHERIC PLASMA. *Electronic circuits and components have to be reliably encapsulated to protect them against dust and moisture. Many electronics companies now use a surface-pretreatment technology that up until now was only found in the automotive sector: open-air plasma.*

NOTE: You can read the complete article by entering the document number **PE103453** on our website at www.kunststoffe-international.com

i	Hersteller
<p>Plasmatrete GmbH Bisamweg 10 D-33803 Steinhagen Tel. +49 (0) 52 04/99 60-0 Fax +49 (0) 52 04/99 60-33 www.plasmatrete.de</p>	

Kunststoffgebundene Dauermagnete mit multipolarer Magnetstruktur

können rationell im Spritzgießverfahren gefertigt werden. Um für Anwendungen in der Sensor- und Antriebstechnik präzise magnetische Signalverläufe zu erhalten, werden durch die Integration von Richtmagneten in der Kavität des Spritzgießwerkzeugs Richtfelder erzeugt. Stärke und Richtung dieser Felder müssen im Werkzeug genau ausgelegt werden.

Werkzeugauslegung am Nord- und Südpol

STEFAN EIMEKE
ERNST SCHMACHTENBERG U.A.

Durch die Verarbeitung hartmagnetischer Füllstoffe in einer thermoplastischen Matrix können in urformenden Verfahren, wie das Spritzgießen eines darstellt, komplexe Magnet-systeme hergestellt werden. Das hohe Integrationspotenzial in der Mehrkomponententechnik und die große Gestaltungsfreiheit sind die hauptsächlichen Vorteile des Spritzgießverfahrens gegenüber herkömmlichen Press- und Sinterverfahren [1, 2]. Der im Verbundprojekt „Mechatronik“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) entwickelte Demonstrator (Bild 1) ist ein gutes Beispiel für das hohe Integrationspotenzial spritzgegossener kunststoffgebundener Dauermagnete.

Der Magnetrotor wurde in einem Verfahrensschritt im Spritzgießverfahren hergestellt. Dabei erzeugten im Werkzeug eingebaute Richtmagnete drei Magnet-spuren im Rotor. Die beiden Sensorspuren dienen dazu, die Drehgeschwindigkeit zu erfassen sowie den Rotor zu kommutieren, die dritte Magnetspur fungiert als Arbeitsspur für den Antrieb in einem bürstenlosen Elektromotor. Um für die Sensorspuren präzise Signalverläufe zu erzeugen und gleichzeitig für die Arbeitsspur hohe magnetische Flussdichten zu erhalten, wurden zwei unterschiedliche Magnetcompounds mit SrFeO- bzw. NdFeB-Füllstoffen verwendet.

Magnetfelder richten die Füllstoffpartikel aus

Bei der Herstellung multipolarer kunststoffgebundener Dauermagnete gilt es,

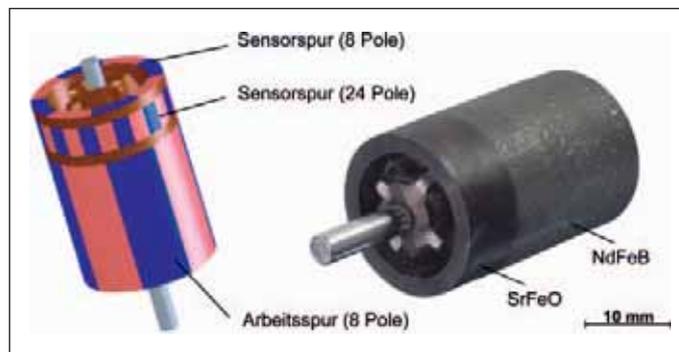


Bild 1. Der kunststoffgebundene Magnetrotor setzt sich aus zwei unterschiedlichen Magnetcompounds zusammen und verfügt über drei integrierte Magnet-spuren (Quelle: BMBF-Verbundprojekt „Mechatronik“)

eine Vielzahl von Einflussgrößen zu berücksichtigen, damit das Produkt den Anforderungen gerecht wird (Bild 2). Zunächst muss ein Spritzgießwerkzeug mit integriertem Magnetrichtfeld ausgelegt und gebaut werden. Auslegung und Konstruktion hängen stark mit der Verarbeitung zusammen. Da in vielen Fällen magnetisch anisotrope Füllstoffe verarbeitet werden, muss ein Magnetfeld die Partikel im Werkzeug ausrichten, bevor die Schmelze erstarrt. Die Anordnung der Richtmagnete im Werkzeug sowie die magnetischen Eigenschaften der Werkzeugstähle und der Richtmagnete bestimmen das resultierende magnetische Richtfeld in der Kavität.

Das Richtfeld orientiert und magnetisiert die Füllstoffpartikel in der Schmelze beim Spritzgießen. Neben den Verarbeitungsparametern, z. B. Masstemperatur und Nachdruck, und der Viskosität der Schmelze ist die magnetische Flussdichte B in der Kavität ausschlaggebend für den Orientierungsgrad der Füllstoffpartikel. Nach dem Erstarren der Schmelze ist die Orientierung der Füllstoffpartikel festgelegt. Der Grad der Ausrichtung beeinflusst die magnetischen Eigen-

schaften und somit den Signalverlauf und die Signalstärke des spritzgegossenen Produkts in erheblichem Maße. Klar ist, dass der Werkzeugaufbau, die materialspezifischen Eigenschaften des Compounds und die Verarbeitungsparameter bei der Herstellung multipolarer kunststoffgebundener Magnete zusammenwirken [3].

Magnetostatische Simulationen

Um bewerten zu können, wie geometrische und materialspezifische Kenngrößen das Magnetrichtfeld in der Kavität des Spritzgießwerkzeugs beeinflussen, führte eine Arbeitsgruppe am Lehrstuhl für

i	Institut
Lehrstuhl für Kunststofftechnik (LKT) Universität Erlangen-Nürnberg Am Weichselgarten 9 D-91058 Erlangen Tel. +49 (0) 91 31/85 29-700 Fax +49 (0) 91 31/85 29-709 www.lkt.uni-erlangen.de	

Kunststofftechnik (LKT) der Universität Erlangen-Nürnberg magnetostatische Simulationen (Software: Opera; Hersteller: Vector Fields Ltd.) durch. Dabei variierte sie die Werkzeugmaterialien, also die magnetischen Eigenschaften der Werkzeugstähle, und die Geometrie der Werkzeugkomponenten.

Eine Orientierung und Magnetisierung der Füllstoffpartikel erfolgt nur, wenn die minimal erforderliche Feldstär-

ferenzmodell weist eine Polbreite d von 5 mm und eine Kavitätstiefe e von 4 mm auf. Um eine gezielte Ausrichtung des Magnetfelds zu ermöglichen, erfordert der Aufbau eine Isolation (A) zwischen den Richtmagneten und der Kavität, eine Isolation (B) zwischen den Richtmagneten sowie einen Rückschluss zwischen den Richtmagneten.

Die magnetischen Eigenschaften der Richtmagnete werden durch die Ent-

isolierende als auch magnetisch leitende Bereiche. Abschließend wird die resultierende magnetische Flussdichte B_z in der Kavität über die gesamte multipolare Struktur in einem definierten Abstand zur Kavitätswand ausgelesen und bewertet. Zur Bewertung der Richtfelder in der Kavität wird die Flussdichte über eine Kavitätstiefe (vertikal) von 10 mm und in einem Abstand von 0,4 mm zur Kavitätswand herangezogen („gemessene Flussdichte B_z “ in Bild 3). Gegebenenfalls werden der Verlauf und die Richtung des Magnetfelds zusätzlich betrachtet.

Kenngrößen, die das Magnetrichtfeld beeinflussen

Die magnetischen Eigenschaften der Werkzeugstähle und die geometrische Auslegung der einzelnen Komponenten entscheiden darüber, ob es gelingt, anwendungsrelevante Richtfelder in der Kavität zu erzeugen. Die Ergebnisse der Simulation belegen, dass die Isolationsschicht zwischen den Richtmagneten und der Kavität einen signifikanten Einfluss auf die magnetischen Richtfelder in der Kavität hat. Diese Schicht sollte eine Dicke von 0,5 mm nicht überschreiten, wie der Werkzeugstahl magnetisch gut isolieren und eine magnetische Permeabilität klei-

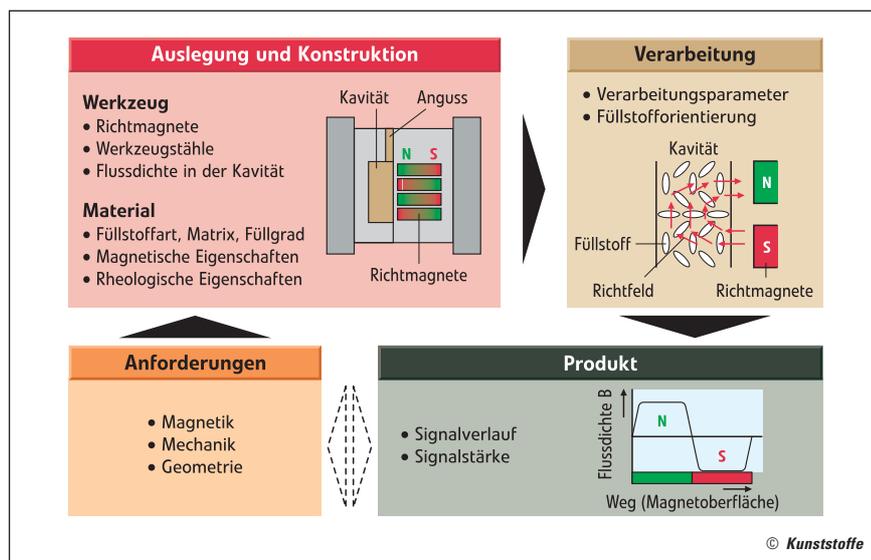


Bild 2. Bei der Auslegung und Herstellung der Dauermagnete müssen viele verschiedene Einflussgrößen berücksichtigt werden, damit das Produkt den Anforderungen gerecht wird (Bilder 2 bis 8: LKT)

ke in der Kavität erzeugt wird. Deren Wert hängt von der Füllstoffart ab. Spritzgießversuche bei unterschiedlichen Richtfeldern zeigen, dass z. B. Strontiumferrit-Partikel (SrFeO) bei Richtfeldern größer 200 mT Orientierungsgrade über 90 % aufweisen. Hingegen benötigt ein Samarium-Kobalt-Füllstoff Richtfelder über 1000 mT, um adäquate Orientierungsgrade zu erreichen.

Da Richtfelder einer Stärke von 1000 mT im Werkzeug durch Richtmagnete nur schwer erzeugt werden können, beschränkt sich diese Arbeit darauf, Richtfelder für SrFeO-Füllstoffe auszuliegen. In Bereiche mit anwendungsrelevanten Orientierungsgraden (>90 %) vorzustoßen, erfordert daher in der Kavität magnetische Richtfelder in einer Stärke von mindestens 200 bis 300 mT.

Für die magnetostatischen Simulationen wurde ein Referenzmodell eines Spritzgießwerkzeugs erstellt (Bild 3). Auf der Düsenseite dieses Modells erzeugen Richtmagnete ein vierpoliges Magnetrichtfeld in der Kavität ($20 \times 20 \times e$ mm³). Neben der Kavität sind zwei zusätzliche Richtmagnete eingebracht, damit das Feld sich gleichmäßig ausbreitet. Das Re-

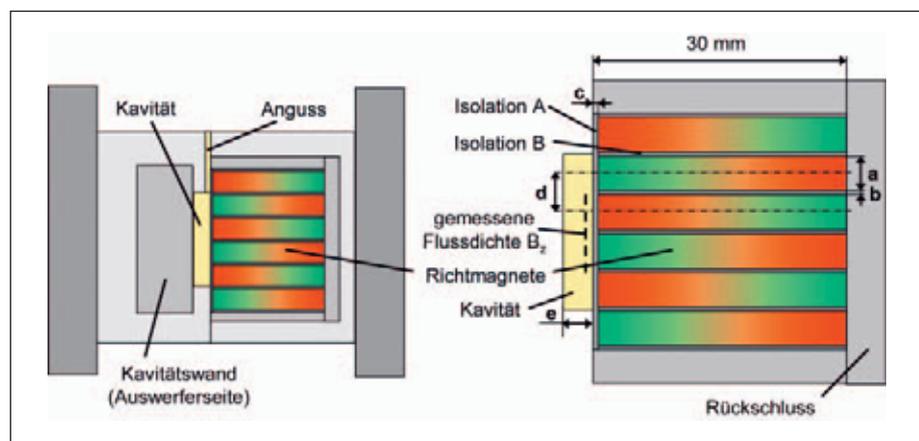


Bild 3. Schematische Darstellung eines Spritzgießwerkzeugs mit den integrierten Richtmagneten, die das Magnetrichtfeld in der Kavität erzeugen. Der Bildausschnitt rechts zeigt eine Vergrößerung der Richtmagnete; a: Breite der Richtmagnete; b: Dicke der Isolationsschicht zwischen den Richtmagneten; c: Dicke der Isolationsschicht zwischen Richtmagneten und Kavität; d: Polbreite; e: Dicke der Kavität

magnetisierungskurve des Materials bei 80°C – die Temperatur entspricht der Werkzeugwandtemperatur – beschrieben und sind für alle Simulationen gleich. Die Eigenschaften der Werkzeugkomponenten werden ebenfalls durch nicht lineare Magnetisierungskurven beschrieben; auf diese Weise berücksichtigt die Simulation sowohl magnetisch

ner 1,5 aufweisen sollte (Bilder 4 und 5), um genügend starke Richtfelder in der Kavität erzeugen zu können.

Bei der Herstellung von Magneten mit hoher Polanzahl verringert sich bei gleichbleibender Geometrie die Polbreite. 5 und 2,5 mm breite Pole erzeugen im Werkzeug durchaus Flussdichten, die genügen, um die SrFeO-Partikel auszurichten. Fallen ▶

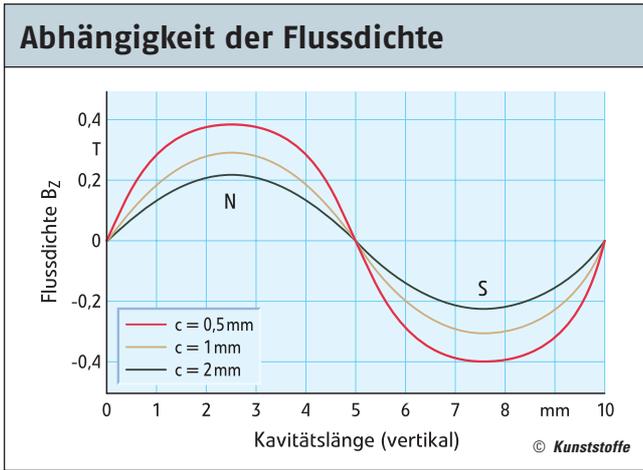


Bild 4. Die Dicke c der Isolationsschicht zwischen den Richtmagneten und der Kavität beeinflusst die Flussdichte in der Kavität (Abstand von der Kavitätswand: 0,4 mm)

werferseite geringere Flussdichten und eher runde Feldlinien zwischen den Polen in der Kavität (Bild 8). Die Folge ist, dass sich die Füllstoffpartikel in diesen Fällen unterschiedlich orientieren und die magnetischen Signale voneinander abweichen.

Die Auswahl geeigneter Materialien für die Richtmagnete ist Grundvoraussetzung für die Herstellung multipolarer kunststoffgebundener Dauermagnete. Das Material der Dauermagnete sollte eine hohe Remanenz und Koerzitivfeldstärke besitzen und den beim Spritzgießen üblichen Werkzeugtemperaturen von 80–100°C standhalten. Die magneti-

die Polbreiten hingegen kleiner aus, sinkt die Flussdichte in der Kavität deutlich unter den geforderten Mindestwert von 200 mT, sodass eine Orientierung der Füllstoffe unterbleibt (Bild 6).

Generell wird eine einseitige Magnetisierung des Spritzlings mit einer bestimmten Eindringtiefe des Richtfelds erreicht. In weiteren Versuchen wurden Simulationsmodelle erzeugt, in denen die Richtmagnete auf beiden (einander gegenüberliegenden) Kavitätsseiten integriert sind. Durch die beidseitige Anordnung kann das Magnetrichtfeld leicht verstärkt werden; allerdings wird der kunststoffgebundene Magnet dabei durchmagnetisiert (Bild 7).

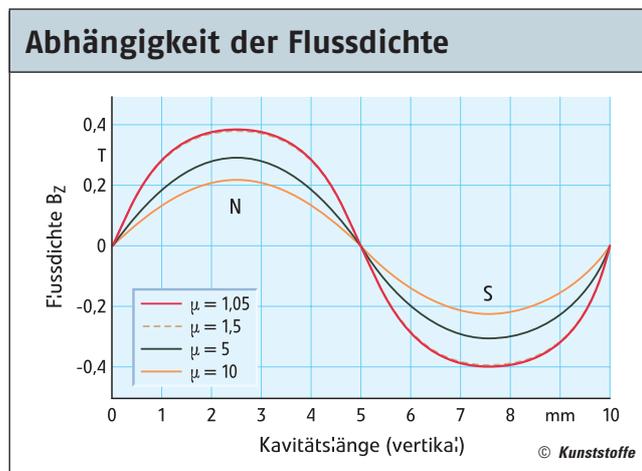


Bild 5. Die Permeabilität μ der Isolationsschicht zwischen den Richtmagneten und der Kavität wirkt sich auf die Flussdichte in der Kavität aus (Abstand von der Kavitätswand: 0,4 mm)

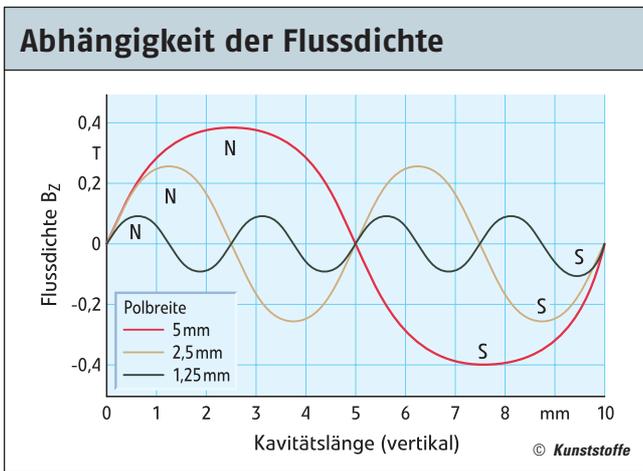


Bild 6. Die Polbreite beeinflusst die Flussdichte in der Kavität (Abstand von der Kavitätswand: 0,4 mm)

schen Isolationsschichten zwischen den Richtmagneten und der Kavität sowie zwischen den Richtmagneten sollten möglichst dünn sein – allerdings stößt man bei der Herstellung solch dünner Schichten technisch schnell an die Grenzen des Machbaren.

Fazit

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass die geometrischen Abmaße sowie die materialspezifischen Eigenschaften der Werkzeugkomponenten einen deutlichen Einfluss auf die magnetischen Flussdichten in der Kavität haben und wichtige Bestandteile zur erfolgreichen Herstellung multipolarer kunststoffgebundener Dauermagnete im Spritzgießverfahren sind. Um die aufgezeigten Einflussfaktoren sowie die bauteilspezifischen Anforderungen berücksichtigen und abschätzen zu können, empfiehlt sich eine magnetische Auslegung des Werkzeugs vor dem Bau. Beim Werkzeugbau stellen die realisierbaren magnetischen Eigenschaften der Werkzeugstähle und das Handling der magnetisierten Richtmagnete weitere Herausforderungen dar.

Die Kavitätsdicke wirkt sich stark auf die Flussdichte in der Kavität aus. Je „schlanker“ bzw. dünner die Kavität ist, umso mehr verkürzt sich der Weg, den die Feldlinien bis zur gegenüberliegenden Kavitätswand überbrücken müssen, und umso höhere Flussdichten werden erreicht (Bild 7). Jedoch nimmt die Flussdichte über die Kavitätsdicke ab (Bild 8). Das Richtfeld für die Orientierung der Füllstoffpartikel durchdringt die Kavität also nur bis zu einem bestimmten Grad.

Eine gleichmäßige Magnetisierung über den gesamten Querschnitt lässt sich daher nur schwer erzielen.

Die magnetischen Eigenschaften des Spritzlings werden maßgeblich durch die Richtung der Feldlinien in der Kavität bestimmt. Eine magnetisch leitende Kavitätswand auf der Auswerferseite leitet die Feldlinien direkter durch die Kavität, sodass die Flussdichten vergleichsweise hoch sind. Demgegenüber erzeugt eine isolierende Kavitätswand auf der Aus-

Abhängigkeit der Flussdichte

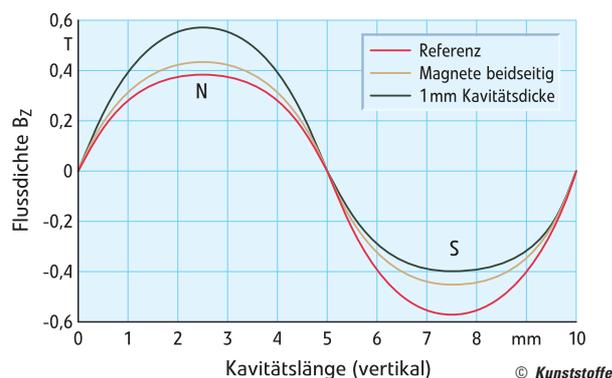


Bild 7. Eine beidseitige Magnetisierung und die Dicke der Kavität wirken sich auf die Flussdichte in der Kavität aus (Abstand von der Kavitätswand: 0,4 mm)

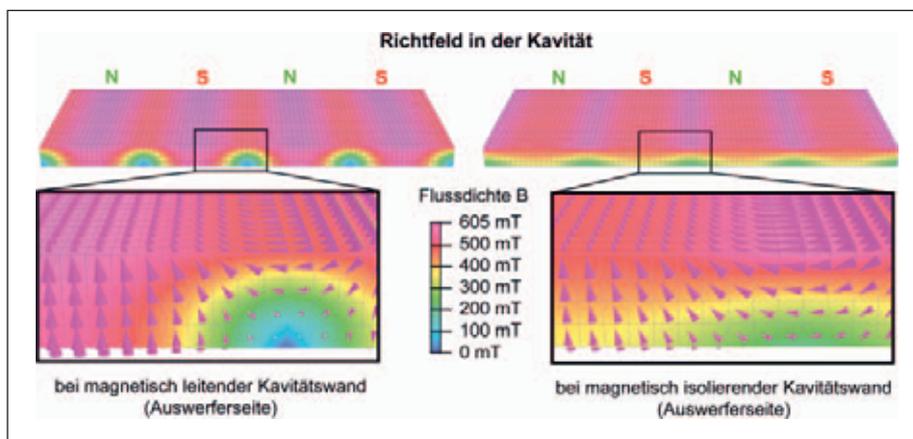


Bild 8. Bei einer Variation der Materialien für die Kavitätswand auf der Auswerferseite verändert sich das Richtfeld (Dicke der Kavität: 0,4 mm; Vektoren geben die Richtung des Richtfelds an)

Das LKT hat den Bau eines Prüfkörperwerkzeugs mit integrierten multipolaren Richtfeldern geplant, mit dem weiterführende Forschungsarbeiten zum Orientierungsverhalten der Füllstoffe durchgeführt werden sollen. ■

DANK

Die Untersuchungen wurden im Rahmen des SFB 694 „Integration elektronischer Komponenten in mobile Systeme“, Teilprojekt A5 „Spritzgießen multipolarer

kunststoffgebundener Mikromagnete“ am Lehrstuhl für Kunststofftechnik, Universität Erlangen-Nürnberg, bearbeitet. Für die Förderung dieses Projekts danken die Autoren der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) sowie Dipl.-Phys. Thomas Schliesch, Max Baermann GmbH, für den Wissensaustausch bei den Simulationen.

LITERATUR

- 1 Drummer, D.: Verarbeitung und Eigenschaften kunststoffgebundener Dauermagnete. Disserta-

tion, Lehrstuhl für Kunststofftechnik, Universität Erlangen-Nürnberg 2004

- 2 Schliesch, T.: Kunststoffgebundene Dauermagnete – Werkstoffe, Auslegung und Prüftechnik. In: Ehrenstein, G.W.; Drummer, D. (Hrsg.): Hochgefüllte Kunststoffe. Springer-VDI-Verlag, Düsseldorf 2002, S. 179–210
- 3 Eimeke, S.; Drummer, D.; Gehde, M.; Ehrenstein, G.W.: Spritzgießwerkzeuge mit integriertem Magnetrichtfeld zur Herstellung kunststoffgebundener Dauermagnete. Plus 7 (2005) 7, S. 1251–1254

DIE AUTOREN

STEFAN EIMEKE, M.Sc., geb. 1975, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Kunststofftechnik (LKT) der Universität Erlangen-Nürnberg im Bereich kunststoffgebundener Dauermagnete; eimeke@lkt.uni-erlangen.de

DIPL.-ING. ALEKSANDER GARDOCKI, geb. 1981, ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am LKT im selben Bereich.

DIPL.-ING. SIMON AMESÖDER, geb. 1973, ist Oberingenieur am LKT.

PROF. DR.-ING. ERNST SCHMACHTENBERG, geb. 1952, ist Inhaber und Leiter des Lehrstuhls für Kunststofftechnik der Universität Erlangen-Nürnberg.

SUMMARY KUNSTSTOFFE INTERNATIONAL

Mould Design from Pole to Pole

PLASTIC-BONDED PERMANENT MAGNETS WITH A MULTI-POLAR MAGNETIC STRUCTURE can be produced cost effectively by means of injection moulding. In order to have precise magnetic signal control for applications involving sensor and drive technology, alignment magnets are incorporated into the cavity of the injection mould to generate alignment fields. The strength and direction of these fields must be laid out exactly in the mould.

NOTE: You can read the complete article by entering the document number **PE103887** on our website at www.kunststoffe-international.com

Attraktiv und robust zugleich

Thermoplastische Elastomere.

Gleich zwei Qualitäten an thermoplastischen Elastomeren (TPE) von GLS Corporation kommen für das Gehäuse des neuen Handheld-Computers Pepper Pad zum Einsatz: Das Produkt Dynaflex G7970 wird im Bereich der Geräteschräge und Versollan OM1262NX-1 für Geräteklappen verwendet. Letzteres wird im Overmolding-Verfahren auf ein spezielles (PC+ABS)-Blend von GE Plastics aufgebracht. Neben einem angenehmen Bedienungsfühl hat der Benutzer so das Gerät beim Betrieb fest im Griff. Die dank Versollan erhaltene Softtouch-Oberfläche erlaubt außerdem, das Scroll-Rad leicht zu bedienen. Neben Pepper Computer und GLS war der Spritzgusshersteller PTA



Handlich, kompakt, robust – thermoplastische Elastomere sorgen beim neuen Handheld-Computer Pepper Pad für rutschfeste und Softtouch-Oberflächen

(Foto: GLS)

Corp. aus Oxford, Connecticut/USA, beteiligt. Der Verarbeiter kombinierte die Werkstoffe und Produktionsteile und schuf so ein Gerät, das in knapp vier Monaten den Weg vom Reißbrett in den Markt schaffte. Dies gelang durch Ver-

wendung von modernster 3D-CAD-Software und Verzicht auf Zeichnungen während der Produktentwicklung.

Der neue Handheld-Computer integriert alle grundlegenden Dinge des digitalen Lebens in ein kompaktes, robustes Produkt: E-Mail, Instant Messaging, Internet, Bilder, Musik, Video und Fernsteuerung. Er ist kleiner als DIN A4 und wiegt nur 1 kg.

► www.glscorp.com

► www.geplastics.com

► www.ptacorp.com

Vorbild Nachtfalter

Folienträger. MacDermid Autotype Ltd., Wantage/GB, hat neue Typen von transparenten Folienträgermaterialien für Geräte wie PDAs, Laptops, Mobiltelefone und Armaturenbretter entwickelt. Bei den in solchen Geräten verwendeten Displays haben die Folienträger wesentlichen Einfluss auf Lichtdurchlässigkeit und mechanische Eigenschaften. Sie bestimmen auch Faktoren wie Gleichmäßigkeit des Lichts, Plattenelastizität, Sichtwinkel, Reflexion und Blendung sowie Beständigkeit gegenüber Chemikalien und Abnutzung.

Während übliche Folien lichtstreuende Partikel und Füllstoffe benötigen, die die optischen Merkmale der Folie nachteilig

beeinflussen können, wurde eine neue Generation von Folien ohne solche Füllstoffe entwickelt. Die oberen und unteren Diffusoren dieses Sortiments verfügen über optisch reine Hartbeschichtungen, die Helligkeit, Lichtstreuung und Homogenität von emittiertem Licht erheblich verbessern. Laut Anbieter können sie über 92 % des Lichts direkt und gleichmäßig übertragen.

Tastbildschirme, Flachbildschirme, Mobiltelefone und PDAs benötigen häufig eine beständige, reine und flexible Schicht, die frei von Lichtreflexionen ist. Eine neue Entwicklung kommt dieser Anforderung entgegen. Eine gemeinsam mit dem Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme in Deutschland entwickelte Folie repliziert die in den Augen von Nachtfaltern entdeckten Nanostrukturen, die soviel Licht wie möglich aufnehmen, aber Reflexionen unterdrücken, damit die Nachtfalter nicht von nächtlichen Feinden aufgespürt werden. Diese optischen Folien (MothEye und Marag) werden nun in Großbritannien hergestellt. Sie sind antireflektierend und entspiegelt und haben eine hartbeschichteten Oberfläche, die beständig gegen Kratzer, Chemikalien und Fingerabdrücke ist. Diese Folien eignen sich besonders für tragbare Geräten mit hochauflösenden Bildschirmen.

► www.macdermidautotype.com

Kooperation, die verbindet

Klebertechnik. Durch Spezialisierung auf exakte CNC-Maschinenbearbeitung von Kunststoffmaterialien, Klebeverbindungen ohne sichtbare Nähte und Kunststofflösungen für Reinräume will ScopusTech, in Israel Marktführer im Bereich hoch entwickelter Kunststoffartikel, auch in Deutschland Fuß fassen. Hierfür ist das Unternehmen eine strategische Kooperation mit der Euma Kunststofftechnik GmbH, Flöha, eingegangen. Für den direkten Kontakt zum Kunden unterhält es zudem eine Repräsentanz in Frankfurt am Main, die ScopusTech Germany.

Neben optischen Komponenten wie Miniaturlichtleitern fertigt ScopusTech präzise Kunststoffteile für medizinische Geräte und beliefert Unternehmen aus der Halbleiterindustrie mit Materialien und Baugruppen gemäß Reinraumstandards. Dabei handelt es sich um statisch dissipative Platten verschiedener Klassen sowie um akkurate großflächige Baueinheiten, die im Hightech-Bereich benötigt werden. ScopusTech entwickelt außerdem Lösungen für die Strukturverklebung von Kunststoffprodukten mit anspruchsvollen Spezifikationen. Dabei kommen u. a. UV-härtende Klebstoffe und Epoxidharze zum Einsatz, die unter einem dreidimensionalen Mikroskop vergossen werden. Ein Beispiel dafür sind sogenannte Phantome für bildgebende Maschinen. Entworfen, um den menschlichen Körper zu simulieren, enthalten sie mehrere Schichttypen, in diesem Fall Luft, Wasser und PMMA, die exakt miteinander verbunden sein müssen.

► www.scopustech.co.il



Neue Folienträger für tragbare Geräte sind antireflektierend, entspiegelt und haben eine widerstandsfähige Oberfläche (Foto: MacDermid)

Brandgefahr minimieren

Flammschutzmittel. Die Auflagen, unter denen Elektro- und Elektronikgeräte – damit auch deren Kunststoffbauteile – betrieben werden dürfen, sind in zahlreichen internationalen Standards und technischen Regeln festgehalten. Diese Vorschriften werden mit wachsendem Sicherheitsbewusstsein und natürlich auch aufgrund neuer Erkenntnisse immer weiter verschärft. Um diesen Anforderungen auch zukünftig zu genügen, ist eine exzellente flammwidrige Ausrüstung der Kunststoffbauteile gefragt. Sie muss nicht nur die hohen Anforderungen an die Effizienz, sondern auch anspruchsvolle ökonomi-



sche und ökologische Kriterien erfüllen. Mit Exolit OP bietet die Division Pigmente & Additive von Clariant eine zukunftsweisende Produktserie für den nicht halogenierten Flammschutz von duroplastischen Harzsystemen für Leiterplattenanwendungen (z. B. FR-4) an. Die Einführung dieser innovativen Technologie kommt dem steigenden Bedarf von zahlreichen OEMs (Original Equipment Manufacturers) nach umweltfreundlicheren Flammschutzmitteln entgegen, die vor allem in Consumer Electronics (Digital Cameras, Mobilfunk-Telefone, DVD-Player, Laptop Computer sowie in der Bordelektronik von Pkw) Anwendung finden.

Darüber hinaus besticht dieses auf Phosphinaten basierende System durch zahlreiche weitere Vorteile. Im Gegensatz zu alternativen Lösungen zeichnen sich die jüngsten Exolit OP-Produkte durch ihre thermische Stabilität sowie ihren nahezu neutralen Einfluss auf die Kennwerte wie dielektrische Konstante und dielektrischer Verlustfaktor aus. Dies ermöglicht deren Einsatz auch im Hochfrequenzbereich. Dabei garantieren die hoch effektiven Produkte optimalen Brandschutz unter Berücksichtigung von ökologischen und toxikologischen Gesichtspunkten. Durch ihr ausgewogenes Preis-Leistungsverhältnis finden diese Produkte eine hohe Akzeptanz und etablieren sich in einer

zunehmenden Anzahl von Formulierungen und Anwendungen.

Das nicht halogenierte Flammschutzsystem Exolit OP 930 ist mit den WEEE- und RoHS-Direktiven kompatibel und erlaubt die Herstellung halogenfreier Leiterplatten mit hohen Glasübergangstemperaturen. So wurden FR4-Basislaminate entwickelt, die eine Glasübergangstemperatur von 170 °C aufweisen. Das System hat sich ebenfalls bei CEM-3-Leiterplatten, Lötstopplacken oder kunststoffbeschichteten Kupferfolien bewährt. Für flexible Leiterplatten steht mit Exolit OP 935 ein modifiziertes Flammschutzmittel zur Verfügung, das durch eine geringe Anpassung der Partikelgröße (Obergrenze: 10 µm) speziell für Polyimid-Kupfer-basierte Leiterplatten entwickelt wurde.

► www.pa.clariant.com

Hoher Tragekomfort, leichte Bedienbarkeit

Thermoplastisches Elastomer. Das flexible Stirnteil mit integriertem Einschaltknopf der neuen Stirn- und Helmlampen der Seven Summits-Serie TL257 von Mellert SLT wird aus Thermolast K von Kraiburg TPE hergestellt. Der Einsatz des thermoplastischen Elastomers (TPE) sorgt für hohen Tragekomfort im Stirnbereich und hervorragende Haptik des Einschaltknopfes.

Bei der Entwicklung der TL257-Stirn- und Helmlampenfamilie für vielseitige Sport- und Outdooreinsätze sowie professionelle Einsatzbereiche wurden konsequent die Bedürfnisse der Anwender umgesetzt. Verschiedene Leuchtwinkel für den Nah- und Fernbereich, ein optisches Lichtbündelungssystem für die gleichmäßige Ausleuchtung und ein angenehmer Tragekomfort wurden in dieser Produktserie optimal umgesetzt.

Als geeigneten Werkstoff für das Stirnteil der TL257-Serie hatte man bei Mellert SLT sehr schnell TPE identifiziert. Schließlich benötigte man ein außerordentlich flexibles Material mit hervorragender Haptik, insbesondere zur Bedienung des integrierten Einschaltknopfes mit seinen drei Schaltzyklen. Mit dem Einschaltknopf lassen sich zwei LEDs für den Nahbereich, drei LEDs für den Fernbereich oder alle fünf LEDs gleichzeitig bedienen. Des Weiteren sollte das Material eine sehr gute Haftung zu Polycarbonat aufweisen, um im kostengünstigen 2-Komponenten-Spritzgießen einen stabilen Verbund mit dem LED-Gehäuse einzugehen. Grundsätzlich gefordert war eine einfache Einfärbbarkeit sowie Schweißresistenz und Hautverträglichkeit. Nach Angaben von Kraiburg TPE erfüllt das Compound Thermolast K die geforderten Leistungskriterien.



Das flexible Stirnteil neuer Stirn- und Helmlampen besteht aus thermoplastischem Elastomer (Foto: Kraiburg TPE)

lichkeit. Nach Angaben von Kraiburg TPE erfüllt das Compound Thermolast K die geforderten Leistungskriterien.

► www.kraiburg-tpe.com

► www.mellert-slt.com

Formstabile Mikroprozessoren

PEEK-Compounds. Die steigende Nachfrage in der Halbleiterindustrie nach kleineren IC-Paketen mit engen Toleranzen, die bei höheren Frequenzen betrieben werden können, erschwert den Einsatz der herkömmlichen, bei Testsockeln eingesetzten Materialien zunehmend. Neue leistungsstarke Testsockelkomponenten aus keramikgefülltem Victrex PEEK von Victrex plc. erfüllen die gestellten Anforderungen. Sie verfügen über eine hohe Schlagfestigkeit, Steifigkeit und minimale Kriecheigenschaften. Im Vergleich zu herkömmlichen Testsockelmaterialien wie Polyamideimide (PAI) und andere Imid-Polymeren bietet das inhärent reine PEEK eine höhere Hydrolysestabilität. Verglichen mit Keramikwerkstoffen wiegt ein entsprechendes PEEK-Compound nur die Hälfte, es verfügt über bessere Schlagfestigkeit und Zähigkeit. Außerdem weist es eine hervorragende Bearbeitbarkeit und Verschleißfestigkeit auf. Weitere Vorteile sind gute dielektrische Eigenschaften



Keramikgefüllte PEEK-Compounds bieten gegenüber herkömmlichen Testsockelmaterialien wie Imid-Polymeren eine höhere Hydrolysestabilität (Foto: Victrex)

ten für Isolieranwendungen und eine reine, weiße Farbe. Hergestellt werden solche Testsockelkomponenten aus Rohlingen vom Spritzgießverarbeiter und Spezialisten für Präzisionskunststoffteile Piper Plastics Inc.

- ▶ www.victrex.com
- ▶ www.piperplastics.com

Datenerfassung mit Röntgenblick

Koordinatenmesstechnik. Sozusagen als XXL-Version des kleineren Modells TomoScope hat die Werth Messtechnik GmbH, Gießen, das auf der Computertomografie basierende Koordinatenmessgerät TomoScope HV konzipiert. Die Anlage kann Bauteile von bis zu 40 kg aufnehmen und besitzt einen extra großen Röntgensensor von 2000 × 2000 Pixel.

Mit ihrer Röhrenspannung von 225 kV kann sie auch Materialien mit hoher Dichte wie beispielsweise Elastomere, Keramik, glasfaserverstärkte Kunststoffe, Stahl oder Titan erkennen.

Im Gegensatz zu anderen Geräten, die laut Hersteller, nur röntgen, misst das Gerät tatsächlich. Durch ein zum Patent angemeldetes Verfahren garantiert das

Unternehmen die Richtigkeit der Daten durch Rückführung der tomografischen Messergebnisse auf das Längennormal der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt. Bauteile mit Längen bis zu 700 mm kann das TomoScope HV optional per Rastertomografie messen. Aber bereits in der Basisversion erfasst es Teile mit einer Länge und einem Durchmesser von 350 mm, ohne die Linearachsen im Bild zu verfahren, sozusagen auf einen Blick.

Parallel aktualisierte das Unternehmen die 3D-Messsoftware WinWerth. Der Schwerpunkt liegt dabei auf dem 3D-CAD-Modul. Das Programm besitzt nun volle 3D-Funktionalität und bietet im Hinblick auf die Computertomografie Erweiterungen zum Arbeiten mit großen Punktwolken. Neu ist ebenfalls die integrierte Voreinpassung von Punktwolken auf das CAD-Modell in weniger als zehn Sekunden.

- ▶ www.werthmesstechnik.de



Die neue Geräteversion misst und digitalisiert bis zu 40 kg schwere Werkstücke mit Computertomografie

(Foto: Werth)