

Zeitschrift: Bulletin Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse, Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik
Band: 101 (2010)
Heft: 1

Artikel: Des plastiques semi-conducteurs pour l'électronique jetable
Autor: Nüesch, Frank A.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-856041>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 01.04.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Des plastiques semi-conducteurs pour l'électronique jetable

Qui sont les semi-conducteurs organiques qui arrivent sur le marché?

Les premiers écrans à base de semi-conducteurs organiques sont depuis peu commercialisés. Mais ces matériaux ont encore beaucoup à offrir dans un domaine novateur, l'électronique jetable. Ils peuvent non seulement être déposés sur des substrats flexibles à moindre coût, mais aussi être pourvus sur mesure de propriétés bien définies. Pour comprendre leurs particularités et de là, leur potentiel, il est nécessaire de se familiariser avec leurs propriétés à l'échelle microscopique.

Frank A. Nüesch

Parmi tous les matériaux que nous côtoyons tous les jours, les matériaux organiques sont certainement ceux qui nous entourent de la manière la plus intime. Il ne s'agit là pourtant pas des matériaux biologiques dont nous sommes constitués, mais bien de matériaux synthétiques présents dans les emballages ainsi que dans nos vêtements, outils de ménage, bouteilles, jouets et autres téléphones portables.

Ces matériaux plastiques, qui en grande partie sont des polymères tels que les PE, PC, PVC, PET, PEEK ou encore EVA pour n'en nommer que quelques-uns, sont constitués de chaînes moléculaires longues (**figure 1**) qui leur confèrent les propriétés plastiques tant prisées par l'industrie de l'usinage [1-4]. Grâce à la chimie synthétique, il est également possible de relier les chaînes polymériques d'un matériau entre elles, afin de produire des élastomères tels que le silicone, ou encore des résines très rigides et résistantes telles que les époxydes. Comme nous le savons, les applications des matériaux polymériques sont innombrables, allant du sac en plastique jusqu'à l'implant dentaire.

A l'état brut, ces polymères dits de commodité sont transparents ou opaques, et connus en tant qu'excellents isolants. Il est cependant possible de les colorer, et même de les rendre conducteurs, en y ajoutant des additifs tels que des pigments pour absorber la lumière,

ou encore des particules conductrices telles que des métaux, du graphite ou encore des nanotubes de carbone.

Or, absorption de lumière et conductivité sont deux propriétés propres aux semi-conducteurs classiques, tels que le silicium ou l'arséniure de gallium. Pourtant, les polymères de commodité, même colorés ou dopés par des particules conductrices, ne sont pas pour autant des

semi-conducteurs, car il leur manque une propriété électronique essentielle: la bande interdite appropriée.

Propriétés des matériaux semi-conducteurs

Un matériau semi-conducteur a deux caractéristiques principales. D'une part, il possède des électrons libres délocalisés sur plusieurs atomes, électrons qui sont à l'origine du transport de charges. D'autre part, les électrons d'un semi-conducteur ne peuvent pas occuper certains niveaux énergétiques. Cette gamme d'énergies non-accessible aux électrons caractérise la bande interdite qui sépare la bande inférieure ou bande de valence dont tous les niveaux sont occupés par des électrons, de la bande supérieure ou bande de conduction qui est dépourvue d'électrons. Cette bande interdite détermine les propriétés optiques du matériau.

Pour mieux comprendre, il faut avoir recours à la théorie de la mécanique quantique qui décrit les niveaux d'énergie



Figure 1 Feuille de polyéthylène (PE) enroulée. En dessous, la structure chimique de la chaîne polymérique constituée d'atomes de carbone et d'hydrogène est illustrée. Les traits reliant les atomes représentent les liaisons chimiques entre atomes. La notation chimique simplifiée est donnée en bas.

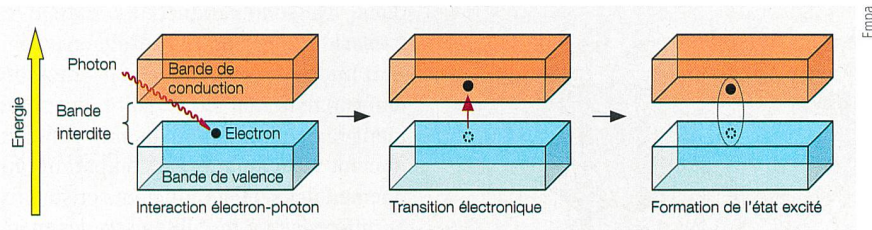


Figure 2 Principe d'absorption de la lumière par un matériau semi-conducteur.

électronique ainsi que l'espace occupé (orbitale) par chaque électron d'un atome [5]. Attirés par l'attraction coulombienne, la plupart des électrons d'un atome restent autour du noyau atomique de charge opposée, même lorsque les atomes condensent pour former un solide. Cependant, dans un semi-conducteur, certains des électrons de plus haute énergie sont délocalisés sur plusieurs atomes et sont donc plus mobiles, une propriété qui est de grande importance dans les transistors à effet de champ.

Absorption de lumière

Ce sont également les électrons délocalisés qui interagissent fortement avec la lumière visible ou infrarouge pénétrant le semi-conducteur. En effet, un matériau semi-conducteur exposé à une lumière de fréquence suffisamment haute peut absorber des photons. Ces photons pourraient être décrits comme des unités de lumière caractérisées par leur fréquence, donc par leur énergie. Lors de l'absorption de lumière par le semi-conducteur (figure 2), un photon donne son énergie à un électron de plus haute énergie situé dans la bande de valence. Si l'énergie du photon est plus élevée que la valeur de la bande interdite, l'électron reçoit son énergie et occupe un état excité de la bande de conduction.

La bande interdite du semi-conducteur détermine donc la fréquence de la

lumière la plus basse qui peut encore être absorbée par le matériau. Ce dernier est transparent pour toute lumière de fréquence inférieure, donc d'énergie inférieure à la valeur de la bande interdite.

En fonction du matériau semi-conducteur, l'état excité peut subsister plusieurs microsecondes, voire quelques millisecondes (dans les métaux, l'état excité ne survit guère plus longtemps qu'un millionième de microseconde). La relaxation de l'état excité à l'état fondamental peut procéder par différentes étapes, donnant lieu à diverses applications. L'émission de lumière est utilisée dans les diodes électroluminescentes ou encore dans les lasers à semi-conducteur. Il est également possible de transformer l'état excité en courant photovoltaïque, principe permettant de produire des cellules solaires [6]. Les autres processus de recombinaison sont non-radiatifs et dissipent l'énergie de l'état excité sous forme de chaleur.

Transport de charge : origine et caractéristiques

Mais quelle est l'origine microscopique qui donne lieu à ces propriétés particulières ? Pour simplifier, il faut construire un solide unidimensionnel en partant d'une chaîne d'atomes. Dans cette approche, il est suffisant de considérer l'orbitale de l'électron ayant l'énergie la plus haute (orbitale de valence). C'est aussi l'orbitale électronique la plus étendue

Empa dans l'espace. Si les atomes se rapprochent de plus en plus, les orbitales voisines vont se recouvrir de plus en plus. A un certain moment, l'électron appartenant à un atome A pourra également s'associer à son voisin B et vice versa (figure 3). Dans une chaîne d'atomes, un tel électron peut ainsi être délocalisé sur toute la longueur de la chaîne.

En physique quantique, le degré de délocalisation est donné par une grandeur caractéristique, l'intégrale de transfert β , qui tient compte du recouvrement des deux orbitales de valence respectives ainsi que de l'interaction coulombienne entre les atomes et l'électron. Bien entendu, β dépend très fortement de la distance entre les atomes, mais aussi de la forme des orbitales de valence.

Dans une structure cristalline, les distances caractéristiques entre atomes se répètent périodiquement, ce qui favorise la mobilité de l'électron délocalisé. Même dans un solide désordonné ou amorphe, une charge pourra toujours être délocalisée sur des longueurs de chaîne plus ou moins grandes. Il est important de noter qu'à température ambiante, voire élevée, l'agitation des atomes va altérer l'intégrale de transfert de manière considérable. Ceci peut en effet détruire une délocalisation parfaite dans une chaîne d'atomes périodique, mais aussi rapprocher deux atomes éloignés pour permettre le saut de l'électron d'un atome à l'autre dans un solide amorphe. Dans ce dernier cas, le transport de charge est donc thermiquement activé.

En connaissant la structure cristalline du semi-conducteur, il est tout à fait possible de calculer les multiples intégrales de transfert β entre voisins proches, et même entre voisins plus éloignés, si l'on désire affiner le calcul. Le tableau donne, entre autres, l'ordre de grandeur de l'intégrale de transfert caractéristique pour différents matériaux semi-conducteurs. Les unités sont des eV, ce qui correspond à l'énergie qu'il faut pour transporter une charge électronique d'un pôle mis à la terre à un pôle maintenu au potentiel de 1 V. La méthode de calcul, nommée « tight-binding » [7], livre également la bande interdite ou encore la mobilité des charges dans l'une ou l'autre direction du matériau.

Cette image quelque peu simplificatrice permet donc de cerner l'origine des propriétés optiques et électroniques des semi-conducteurs. Jusqu'ici, aucune distinction n'a été faite dans cet article entre un matériau inorganique comme le sili-

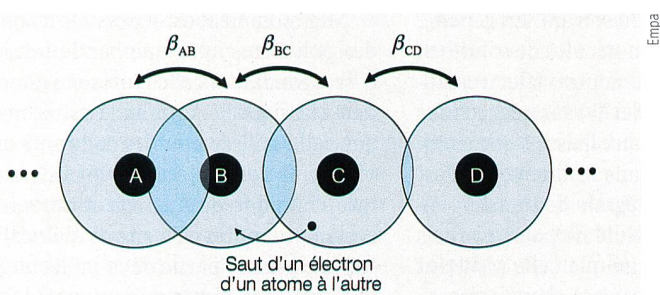


Figure 3 Schéma d'une chaîne atomique dont les orbitales de valence se recouvrent. L'intégrale de transfert β indique la probabilité de saut d'un électron d'un atome à l'autre. Dans le cas représenté ici, le saut d'un électron aura lieu avec la plus grande probabilité entre les atomes A et B.

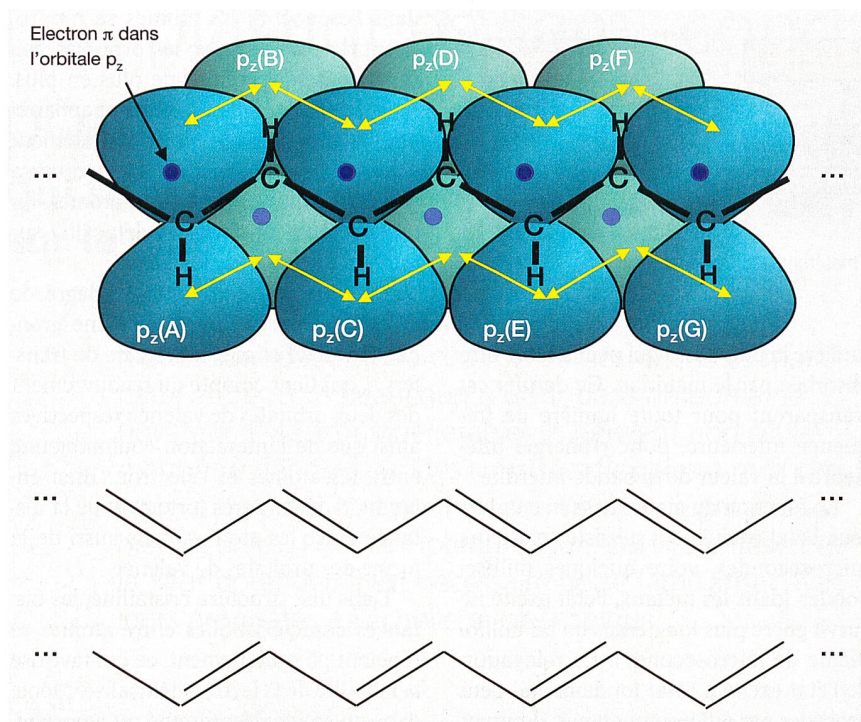


Figure 4 Schéma d'un système électronique conjugué π . Chaque atome de carbone contribue avec un électron dans son orbitale p_z . Le recouvrement des orbitales p_z indiqué par les flèches jaunes, est à l'origine de la délocalisation de ces électrons le long de la chaîne formée par les atomes de carbone et d'hydrogène. En dessous, deux représentations identiques de la chaîne sont données en notation chimique.

cium ou un matériau organique composé d'atomes de carbone.

Les semi-conducteurs organiques

Certains matériaux organiques sont également des semi-conducteurs. A la maille près, le silicium cristallin a la même structure que le diamant. Or le diamant est un matériau organique qui possède lui aussi des électrons délocalisés. Son intégrale de transfert entre voisins proches dépasse même celle entre atomes de silicium. Ces fortes liaisons sont également à l'origine de ses propriétés mécaniques extraordinaires. En effet, la rigidité du diamant est 10 fois plus forte que celle du silicium. Cependant, le diamant a une grande bande interdite. La largeur de la bande interdite est corrélée au nombre d'électrons par atome : plus le nombre est petit, plus la bande interdite sera grande. Le germanium confirme bien ce fait. Il cristallise également dans la structure « diamant » et possède une intégrale de transfert semblable à celle du silicium. Cependant, l'atome de germanium a un nombre d'électrons encore plus grand et par conséquent, une bande interdite encore plus petite que le silicium.

Développer des matériaux semi-conducteurs solubles

Mis à part sa large bande interdite, le diamant ne se laisse pas aisément appliquer en couche mince, contrairement aux polymères. Or, l'intérêt de l'électronique plastique est justement de pouvoir appliquer les matériaux organiques actifs de la même façon que de la peinture ou de l'encre. Le défi est donc de concevoir des matériaux solubles avec des propriétés adéquates de bande interdite et d'intégrale de transfert.

La solution de ce dilemme tient à un compromis. Lorsqu'un matériau soluble est déposé sur un substrat quelconque, un film composé du soluté est obtenu après évaporation du solvant. En général, l'entassement des molécules de soluté est guidé par des interactions électrostatiques, dites de Van der Waals, interactions faibles comparées aux liaisons entre atomes de carbone dans le diamant. Il est donc clair que l'intégrale de transfert entre molécules de soluté ne pourra jamais être aussi importante que celle résultant des liaisons entre atomes dans les semi-conducteurs classiques.

Typiquement, l'intégrale de transfert entre orbitales moléculaires est 10 à 100 fois plus faible que pour les liaisons fortes

Empa dans les semi-conducteurs classiques (tableau). Ceci a deux conséquences importantes. Premièrement, la mobilité dans un matériau moléculaire sera nettement plus faible que dans un semi-conducteur inorganique. En comparant uniquement les semi-conducteurs cristallins, la différence de mobilité entre les matériaux organiques et inorganiques obtenue par mesure expérimentale peut atteindre trois ordres de grandeur. De plus, une faible intégrale de transfert entre molécules signifie que les bandes électroniques obtenues dans le solide seront très minces et que la bande interdite sera essentiellement donnée par l'écart entre l'orbitale occupée par un électron de plus haute énergie (HOMO ou Highest Occupied Molecular Orbital) et l'orbitale vide de plus basse énergie (LUMO ou Lowest Unoccupied Molecular Orbital).

La première conséquence est une limitation capitale quant à la mobilité des charges dans un semi-conducteur organique moléculaire. Ainsi, pour faire passer la même densité de courant, un transistor organique nécessitera un canal beaucoup plus large qu'un transistor à base de semi-conducteurs inorganiques. Rien que pour des raisons de dimensions, il ne sera pas envisageable de construire des chips pour ordinateur en se basant sur des solides moléculaires. La deuxième conséquence, par contre, ouvre la porte au génie de la synthèse chimique et permet ainsi de choisir la bande interdite du semi-conducteur. Comme la bande interdite détermine les propriétés optiques, cela signifie que le choix de la couleur du matériau ou encore de la fréquence d'émission de lumière est pratiquement libre. Ceci est particulièrement intéressant pour l'application de ces matériaux dans les diodes électroluminescentes ou encore dans les cellules solaires organiques.

Réalisation de semi-conducteurs organiques sur mesure

Mais comment est-il possible d'obtenir des polymères avec une bande interdite correspondant à celle d'un semi-conducteur classique ? L'approche est la même que celle utilisée pour les colorants organiques. Il s'agit de concevoir une structure chimique de manière à obtenir un certain nombre d'électrons délocalisés sur une grande partie de la molécule. De tels systèmes électroniques ont des niveaux d'énergie assez proches afin que l'écart entre HOMO et LUMO corresponde à l'énergie de la lumière visible. Le principe le plus répandu se base sur un

		Ordre de grandeur de l'intégrale de transfert entre voisins proches	Bande interdite	Temps de vie des porteurs minoritaires ou de l'état excité (singulet ou triplet) [µs]	Mobilité de l'électron dans la bande de valence (BV) ou de conduction (BC) [cm ² /Vs]
		[eV]	[eV]		
Semi-conducteurs classiques	Si cristallin [10]	1-5 (entre orbitales de valence) [12-13]	1,12	2500	1500 (BC)
	Si hydrogéné amorphe [11]		1,7	1	1 (BC)
	GaAs [10]		1,42	0,01	8500 (BC)
	Ge [10]		0,66	1000	3900 (BC)
Semi-conducteurs organiques	Fullerène C ₆₀ [14]	0,01-0,1 (entre orbitales moléculaires π) [20]	2,3	1,8 (triplet)	1,2 (BC)
	Anthracène [14]		3,9	0,01 (singulet)	1,1 (BV)
	Pentacène [14]		2,2	0,005 (triplet) [15]	0,5 (BV) [19]
	Poly(3-hexylthiophène) cristallin [16]		2,1 [18]	0,001 (singulet) [17]	0,1 (BV)
	Poly(3-hexylthiophène) amorphe [16]		-	-	0,0001 (BV)

Tableau Caractéristiques physiques de quelques semi-conducteurs classiques et organiques. Pour certains matériaux, l'état amorphe et cristallin est indiqué. Les valeurs dépendent fortement de la pureté et de la température des matériaux et sont donc des valeurs moyennes à température ambiante.

arrangement d'atomes de carbone unidimensionnel ou bidimensionnel, dans lequel chaque atome de carbone fait une liaison forte avec trois voisins en gardant un quatrième électron dans une orbitale particulière appelée p_z pour se lier avec un électron analogue d'un atome de carbone voisin (figure 4). Cette construction, dite système conjugué π , permet à un électron particulier de s'apparier soit avec son voisin de gauche, soit avec son voisin de droite. C'est par ce mécanisme-là que l'électron peut être délocalisé sur la molécule entière. En notation chimique, la formule de tels systèmes conjugués π se démarque par l'alternance de liaisons simples et doubles. La partie active (le chromophore) de tout colorant organique possède de tels systèmes d'électrons délocalisés.

Bien que les semi-conducteurs organiques soient constitués par des empilements de molécules ou de polymères moyennant une faible énergie de liaison, il serait faux de croire que leurs caractéristiques physiques ne dépendent pas du type d'empilement. Pour les propriétés de transport de charge à travers le solide, le désordre moléculaire aussi bien que l'inhomogénéité due par exemple à la formation de grains, sont d'importance primordiale. Ceci se manifeste dans la mobilité des porteurs de charge qui peut fluctuer de plusieurs ordres de grandeurs selon le degré de cristallinité (tableau). Les propriétés optiques peuvent également varier fortement en fonction de l'empilement moléculaire (figure 5). Cet effet est très spectaculaire dans le cas des solides constitués de colorants photographiques,

un type particulier de semi-conducteur organique. Selon la structure cristalline, le matériau peut adopter une couleur bleue, verte ou rouge [8].

La fabrication de dispositifs organiques

Plusieurs compagnies travaillent d'arrache-pied sur la fabrication de dispositifs électroluminescents organiques. Sony, par exemple, vient de sortir un écran aux couleurs brillantes et dont l'angle de vue est pratiquement illimité. Ces écrans de nouvelle génération sont constitués de petites molécules organiques déposées par évaporation thermique sous vide. Bien qu'appropriés pour la fabrication d'écrans plats de haute qualité, le processus de fabrication de ces dispositifs organiques est encore bien trop onéreux pour l'électronique jetable. Seuls les processus d'imprimerie tels que la sérigraphie, la déposition par jet d'encre, le trempage ou encore le « doctor blade » permettront finalement la production à bas prix. Différentes compagnies dans le domaine de l'illumination s'intéressent vivement aux plus récents développements réalisés dans les laboratoires de recherche. Le rendement lumineux vient en effet de dépasser celui des tubes fluorescents.

Un autre développement qui a le vent en poupe est celui des cellules solaires organiques, cellules qui ne cessent de progresser en laboratoire, notamment à l'Empa où des colorants photographiques sont utilisés comme semi-conducteurs organiques (figure 6). Plusieurs compagnies, dont Heliatak SA, Solarmer

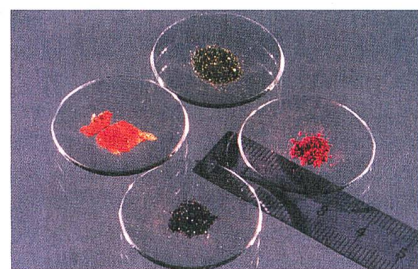


Figure 5 Poudres cristallines obtenues à partir d'un même colorant, la mérocyanine, en utilisant différents solvants. La différence de couleur induite par un différent empilement microscopique des molécules est bien visible.



Figure 6 Cellules solaires de laboratoire déposées sur un substrat flexible. La couche violette est constituée d'un colorant photographique de type cyanine. Chacune des quatre surfaces circulaires définit une petite cellule photovoltaïque.

Energy Inc. ou encore Konarka sont capables de produire des cellules prototypes sur substrats flexibles qui seront bientôt en vente sur le marché.

D'autres applications se profilent, parmi elles les cartes intelligentes en plastique pour la billetterie, ou l'affichage électronique donnant de l'information

actualisée sur les produits de consommation. Bientôt, d'autres composants et dispositifs électroniques seront disponibles sur des substrats flexibles.

Conclusions et perspectives

Bien que la recherche sur les semi-conducteurs organiques soit déjà un sujet vieux de 50 ans, l'effort soutenu en recherche et développement n'a démarré que dans les années 80 avec l'introduction des films ultraminces pour l'opto-électronique [9]. Grâce à leur épaisseur d'environ $\frac{1}{10}$ de μm (soit $\frac{1}{1000}$ de l'épaisseur du cheveu humain), le problème inhérent à la mobilité de charge a pu être écarté par le fait que les charges n'ont plus qu'un chemin très court à parcourir. De plus, les films minces sont compatibles avec des processus de déposition peu coûteux, tels que le dépôt à la tournette, la sérigraphie ou encore la déposition par pulvérisation dite « spray coating ». Les petites molécules conjuguées, quant à elles, se laissent facilement évaporer.

Du côté des applications, les premiers écrans fabriqués avec des diodes électroluminescentes organiques sont déjà sur le marché, les transistors organiques imprimés sont très prometteurs pour l'application dans les cartes à puces ou dans les matrices actives pour écrans luminescents. Quant aux premières cellules solaires, elles arrivent également sur le marché.

Cependant, il reste de nombreux défis à résoudre, et parmi eux, la durabilité de ces dispositifs. Heureusement, le développement technologique des écrans électroluminescents a montré que la dégradation des semi-conducteurs organiques n'était pas une propriété inhérente

à l'injection de courant électrique, ou encore à l'exposition à la lumière. Par contre, la contamination atmosphérique par l'oxygène et l'eau a un effet dévastateur sur la longévité des dispositifs. Le grand défi consiste donc à développer des feuilles d'encapsulation transparentes et flexibles, imperméables à l'oxygène et à l'eau, qui puissent être utilisées dans la production bon marché à grande échelle.

Références

- [1] N. Platzer: Commodity and engineering plastics. New York, Wiley, 1981.
- [2] H. F. Mark Ed.: Encyclopedia of polymer science and technology. New York, Wiley, 2003.
- [3] H. G. Elias: An introduction to plastics. Weinheim, Wiley-VCH, 2003.
- [4] E. Lokengard: Industrial plastics, theory and applications. Clifton Park, Delmar Learning, 2004.
- [5] P. Atkins, R. Friedman: Molecular quantum mechanics. Oxford, Oxford University Press, 2007.
- [6] S. M. Sze: Semiconductor devices: physics and technology. New York, Wiley, 2002.
- [7] J. C. Slater, G. F. Koster, Phys. Rev. 94, p. 1498, 1954.
- [8] F. Nüesch: From monomers to the solid state. A photophysical investigation of a merocyanine dye. Thesis No. 1358, 1995, EPF Lausanne.
- [9] S. R. Forrest, Nature, 428, pp. 911–918, 2004.
- [10] S. M. Sze: Physics of semiconductor devices. 2nd edition, Singapore, John Wiley & Sons, 1981.

- [11] R. A. Street: Hydrogenated amorphous silicon. Cambridge Solid State Science Series, Melbourne, Cambridge University Press, 1991.
- [12] C. Delerue, M. Lannoo, G. Allan, Phys. Stat. Sol. B, 227, pp. 115–149, 2001.
- [13] J. van der Rest, P. Pecheur, J. Physique, 44, pp. 1297–1305, 1983.
- [14] M. Pope, C. E. Swenberg: Electronic processes in organic crystals and polymers. New York, Oxford University Press, 1999.
- [15] V. K. Thorsmølle et al., Phys. Rev. Lett., 102, p. 017401, 2009.
- [16] H. Sirringhaus et al., Nature, 401, p. 685, 1999.
- [17] J. Piris et al., J. Phys. Chem. C, 113 (32), pp. 14500–14506, 2009.
- [18] R. D. McCullough, P. C. Ewbank, in: T. A. Skotheim (Ed.): Handbook of conducting polymers. Chapter 9, New York, Marcel Dekker, 1998.
- [19] J. Takeya et al., J. Appl. Phys. 94, p. 5800, 2003.
- [20] F. C. Grozema, L. D. A. Siebbeles, Intern. Rev. Phys. Chem., 27, pp. 87–138, 2008.

Informations sur l'auteur

Frank A. Nüesch est depuis 1989 physicien diplômé de l'EPF Zurich. Grâce à ses travaux de recherche sur les agrégats de colorants et leurs réactions photochimiques à l'interface d'oxydes métalliques, il obtient en 1995 son doctorat sous la direction du Prof. Michael Grätzel à l'EPF Lausanne. Il travaille par la suite sur les interfaces monomoléculaires dipolaires et leur rôle dans l'injection de charge dans les dispositifs optoélectroniques organiques. Depuis avril 2004, il occupe le poste de chef de section au Laboratoire fédéral d'essai des matériaux et de recherche (Empa), où il développe de nouveaux matériaux organiques pour cellules solaires à couche mince.

Empa, 8600 Dübendorf, frank.nuesch@empa.ch

Zusammenfassung

Halbleitende Kunststoffe für die Wegwerfelektronik

Was zeichnet die neu auf den Markt kommenden organischen Halbleiter aus?

Erste Bildschirme auf der Basis organischer Halbleiter sind seit Kurzem im Handel. Diese Materialien haben aber im innovativen Bereich der Wegwerfelektronik noch viel zu bieten. Sie lassen sich nicht nur kostengünstig auf flexible Substrate auftragen, sondern auch mit genau definierten Eigenschaften nach Mass ausstatten. Um ihre Eigenschaften und somit auch ihr Potenzial zu erfassen, muss man sich mit ihren Eigenschaften im mikroskopischen Bereich vertraut machen.

Suchen Sie eine Fachperson, die Ihre Drucksachen gestaltet und realisiert?

VISUELLE GESTALTUNG : PIA THÜR

Hardturmstrasse 261, 8005 Zürich
Tel 044 563 86 76, Fax 044 563 86 86
piathuer@dplanet.ch

Sicherheit und Power

Ihr kompetenter Partner
für Notstrom-Systeme

Bimex Energy AG

Thun · Hinwil · Sargans · www.bimex.ch