



## Intelligent Stimuli-Responsive Materials

Materialien, die ihre Form, Farbe, Transparenz oder Funktion als Antwort auf einen externen Reiz hin ändern, erfahren große Beachtung. Solchen stimuli-responsiven oder „intelligenten“ Materialien wird eine Schlüsselrolle bei der Bewältigung zukünftiger Herausforderungen unserer Gesellschaft zugestanden, von nachhaltiger Energie bis hin zum Gesundheitswesen. Man könnte sich Materialien vorstellen, die auf Umwelteinflüsse mit Änderungen von Topographie und Farbe reagieren und dadurch den Energiebedarf von Automobilen und Gebäuden senken, oder Wirkstofftransportsysteme mit extern stimulierter Freisetzung für die gezielte Therapie. Die Materialien mit der breitesten Verwendung sind flüssigkristalline (LC) Polymere oder Hydrogele. Kleine Veränderungen der Molekülanordnung von LC-Materialien können Änderungen auf höheren Dimensionen verursachen; so kann das Quellen und Schrumpfen von Gelen durch Adsorption oder Desorption eines Lösungsmittels ihre Größe verändern. Will man solche Systeme herstellen, so muss man alle Längenskalen kontrollieren – von den molekularen Bausteinen bis hin zur fertigen Funktionseinheit –, denn die auslösenden Reize setzen zumeist auf molekularer Ebene an. Inspiration für den Entwurf dieser Materialien kommt oft von stimuli-responsiven biologischen Systemen. Das Buch *Intelligent Stimuli-Responsive Materials: From Well-Defined Nanostructures to Applications* bietet einen aktuellen Überblick über derartige Materialien. Der Herausgeber, Quan Li, ist der Leiter des Organic Synthesis and Advanced Materials Laboratory am Liquid Crystal Institute der Kent State University, Ohio, und ein Experte auf dem Gebiet. Grundlagen und Prinzipien werden in dem Buch mit Schwerpunkt auf hierarchischen nanostrukturierten Materialien diskutiert, hinzu kommen Methoden und Anwendungen in vielen verschiedenen Feldern. Die 13 Kapitel stellen Entwicklung, Fortschritte, Herausforderungen, analytische Techniken und Anwendungen für verschiedene stimuli-responsive Materialien vor. Vier Kapitel stammen aus der Feder des Herausgebers, die übrigen wurden von führenden Wissenschaftlern auf dem Gebiet verfasst.

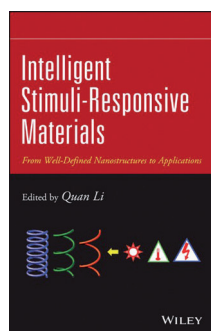
Das erste Kapitel beschreibt stimuli-responsive selbstfaltende Polymerfilme nach natürlichem Vorbild. Diese Filme bestehen aus zwei Materialien, von denen zumindest eines sein Volumen ändern kann. In den meisten Fällen ist das zweite Material ein pH-, temperatur-, lösungsmittel- oder lichtresponsives Hydrogel. Eine Vielzahl von Filmen wurde durch Schneiden oder unter Ver-

wendung von Substraten mit Mikrovertiefungen, Photolithographie und selbst mithilfe einfacher Computerdrucker hergestellt. Das Resultat ist ein faszinierendes Spektrum selbstfaltender Formen wie Röhren, Würfel, Pyramiden und sogar ein Dodekaeder. Das nächste Kapitel diskutiert stimuli-responsive Nanostrukturen, die durch Selbstorganisation von Molekülen mit starren und flexiblen Blöcken entstehen. Solche Moleküle sind hervorragende Bausteine für supramolekulare Strukturen, weil sich in selektiven Lösungsmitteln die flexiblen Seitenketten zu verschiedenen Nanostrukturen anordnen, darunter Röhren, Ringe, poröse Kapseln und helikale Fasern. Das Kapitel stellt ferner einzigartige responsive Nanostrukturen vor, die bei Temperatur- und pH-Änderungen, Behandlung mit verschiedenen Lösungsmitteln und in Gegenwart bestimmter Moleküle ihre Form und Morphologie ändern.

Materialien für die organische Elektronik sind das Thema von Kapitel 3, wobei die gelenkte Ausrichtung in halbleitende diskotische Flüssigkristallnanostrukturen im Mittelpunkt steht. Die Ausrichtung ist wichtig, denn sie verbessert den Ladungstransport in elektronischen Funktionseinheiten. In diesen Flüssigkristallen kann sie beispielsweise erreicht werden, indem ausgerichtete Schichten induziert werden, durch Zonenabscheidung und Zonenschmelzen, durch Anwendung magnetischer oder elektrischer Felder oder durch Bestrahlung mit Infrarotlicht. Das Fazit des Autors macht aber deutlich, dass wir lange noch keine rationale Beziehung zwischen Molekülstruktur, Selbstorganisation der Volumenphase und Leistungsfähigkeit von Funktionseinheiten erkennen. Wie in Kapitel 4 beschrieben, wurden auch Anionen genutzt, um die supramolekulare Anordnung in selbstorganisierten (halbleitenden) Materialien zu lenken.

Die folgenden drei Kapitel (5 bis 7) handeln von elektro- und photoresponsiven Flüssigkristallen. Chirale flüssigkristalline Phasen können Licht reflektieren, wobei die Farbe über die Lichtintensität geschaltet wird. Diese Eigenschaft ist interessant in Bezug auf Anwendungen in Polarisatoren und „intelligenten“ schaltbaren reflektierenden Fenstern. Licht wurde als Reiz zur Herstellung photomechanischer Materialien genutzt, die vielfältige interessante und nützliche Bewegungen ausführen. Flüssigkristalle aus gebogenen Mesogenen werden ebenso diskutiert; diese Materialien sind makroskopisch polar und dadurch elektro-responsiv.

Der Transport von Molekülen durch responsive nanoporöse Siliciumdioxid-Membranen wird in Kapitel 8 betrachtet. Er kann beispielsweise mithilfe von pH, Licht und Temperatur kontrolliert werden, was interessant hinsichtlich der Entwicklung von Wirkstoff-Freisetzungssystemen und



**Intelligent Stimuli-Responsive Materials**  
From Well-Defined Nanostructures to Applications.  
Herausgegeben von Quan Li. John Wiley and Sons, Hoboken, 2013. 486 S., geb., 152.00 €. ISBN 978-1118452004

Sensoren ist. Responsive organisch-metallische Hybridnanopartikel werden als Alternative zu Polymerfilmen in Kapitel 9 vorgestellt. Vor allem durch den Einsatz von Licht- und magnetischen Reizen wurden bemerkenswerte Resultate erhalten, die im Zusammenhang mit biomedizinischen Anwendungen zu beachten sind. Goldnanopartikel werden wegen ihrer außerordentlichen Empfindlichkeit für Nahinfrarotlicht besonders ausführlich behandelt.

Als Antwort auf Biomoleküle wie Saccharide und Proteine quellende oder schrumpfende Gele wurden entwickelt, um physiologische Veränderungen zu messen (Kapitel 10), und auch selbstoszillierende Gele sind verfügbar (Kapitel 11). Dieses Kapitel liefert Beispiele dafür, wie auf der Basis der bekannten Beloussow-Schabotinski-Reaktion chemische mit mechanischen Oszillationen in einem Polymersystem gekoppelt werden können. Gele und andere Materialien können auch eingesetzt werden, um stimuliresponsive Oberflächen zu erzeugen, die für biomedizinische Anwendungen von Interesse sind (Kapitel 12). Ein wichtiges Forschungsthema auf diesem Gebiet ist die Nachahmung des dynamischen Verhaltens der extrazellulären Matrix, wegen seiner Bedeutung für Gewebezücht, -reparatur und -regeneration. Kapitel 13 dreht sich schließlich um responsive  $\pi$ -konjugierte Materialien für Anwendungen von elektronischen

Nasen bis hin zu künstlichen Muskeln. Am Ende des Buchs findet sich ein umfassendes Verzeichnis von Stichworten, Materialien, Techniken und Themen.

Die Kapitel des Buchs decken das faszinierende Gebiet der responsiven Materialien nicht zur Gänze ab, doch sie vermitteln einen hervorragenden Eindruck der diversen Themen. Aktuelle Entwicklungen werden in klarer Form präsentiert, teilweise unter Verwendung farbiger Abbildungen. Das Buch eignet sich gut für Studienanfänger und fortgeschrittene Studenten, aber auch für Wissenschaftler mit verschiedenen Hintergründen. Studenten dient es als ausgezeichnete Einführung in Grundlagen und Prinzipien, Herstellungsmethoden, Leistungsfähigkeit und Herausforderungen bei der Entwicklung dieser Materialien. Forscher erfahren über jüngste Fortschritte und erhalten Denkanstöße. Ich empfehle das Buch nachdrücklich, denn es illustriert das enorme Potenzial stimuliresponsiver Materialien, und es bietet eine hervorragende Einführung in das Thema.

*Albert P. H. J. Schenning*  
Faculteit Scheikundige Technologie  
Technische Universiteit Eindhoven (Niederlande)

DOI: 10.1002/ange.201406937