

Die Kodierung optischer Signale**

Juyoung Yoon*

Datenverarbeitung · Molekulare Elektronik ·
Molekulare Funktionseinheiten · Photoschalter

Im Informationszeitalter wird täglich eine große Menge an Daten übertragen, errechnet und angezeigt, wobei diese Daten meist in Form von elektrischen Signalen oder optischen Pulsen auftreten. Da beide Signaltypen Vor- und Nachteile haben, werden sie derzeit gemeinsam genutzt, weshalb oftmals zwischen ihnen konvertiert werden muss. Da Laser zur Kodierung binärer Lichtpulse verwendet werden können, ergibt sich der Wunsch, Information aus einem Lichtstrahl direkt auf einen anderen zu übertragen, ohne den Umweg der Umwandlung in ein elektrisches Signal gehen zu müssen. Um diese komplizierte Aufgabe zu meistern, sind optisch aktive Materialien nötig.

Üblicherweise werden Lichtstrahlen in einem optischen Medium mit großen nichtlinearen Effekten gemischt, und der Nutzen optischer Kommunikation basiert auf der Tatsache, dass in Lichtwellenleitern enorme Datenmengen über große Distanzen übermittelt werden können. Beispielsweise werden elektrooptische Modulatoren verwendet, um elektronische Signale in Form optischer Pulse zu kodieren. Der Engpass bei der Verwendung nichtlinearer optischer Materialien ist, dass diese für Effekte zweiter Ordnung nicht punktsymmetrisch sein dürfen. Aus der riesigen Zahl möglicher Materialien kann nur eine Handvoll in echte Funktionseinheiten überführt werden; so sind beispielsweise auf LiNbO_3 -Kristallen basierende Modulatoren in der Telekommunikation weit verbreitet.^[1] In den anorganischen LiNbO_3 -Kristallen als Modulatoren wird der elektrooptische Effekt $\chi^{(2)}$, d.h. ein Effekt zweiter Ordnung, zum Ein- und Ausschalten eines Lichtstrahls verwendet. Diese Überlegungen decken zwei fundamentale Herausforderungen bei der Verwendung nichtlinearer optischer Materialien auf: Nicht nur sind nichtlineare Effekte von Natur aus viel kleiner als lineare Effekte, sondern es ergibt sich durch die intrinsische Instabilität hochpolarer Materialien zusätzlich eine Obergrenze der erreichbaren Nichtlinearität. Zhu, Li et al. stellten kürzlich den Wechsel von nichtlinearen optischen Materialien zu linearen photoschaltbaren Materialien vor, wobei zugleich Modulationseffekte erzielt wurden.^[2]

An der Entwicklung von Materialien, die photooptische Modulationen durchführen, oder von Bauelementen, die ein optisches Signal in ein optisches Signal einer anderen Wellenlänge umwandeln, wurde bisher wenig gearbeitet. Eine Zusammenarbeit der Gruppen von Zhu und Li hat nun zu einem neuen Konzept geführt, indem sie zeigten, dass die quantitative Photoschaltung eines Di(bisthiazolyl)ethens (**1₀**; Abbildung 1) photooptisch modulierende Eigenschaften hat

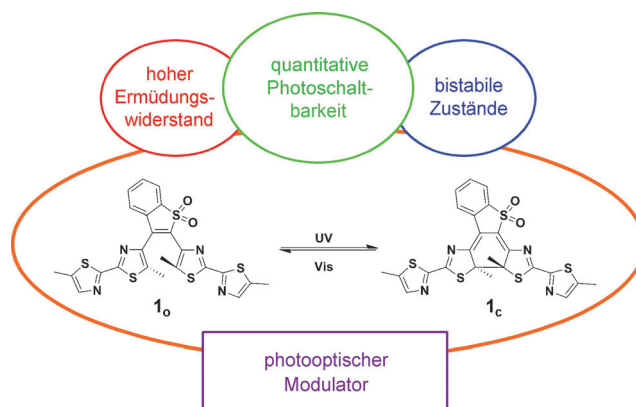


Abbildung 1. Das photochrome System **1₀/1_c** zeichnet sich durch eine Reihe wünschenswerter Eigenschaften aus: exzellenter Ermüdungswiderstand, hohe thermische Stabilität und quantitative Photoschaltbarkeit.

und Dauerstrich in sinnvolle Laserpulse umwandeln kann. Diese Veröffentlichung belegt, dass zur Lichtmodulation statt nichtlinearer optischer Materialien photoschaltbare Moleküle eingesetzt werden können. Dank dieses Nutzens linearer optischer Eigenschaften kann auf die sonst zum Erreichen nichtlinearer Effekte nötigen Hochenergielaser verzichtet werden.

Photoschaltbare Moleküle sind der Schlüssel, um dieses Ziel zu erreichen. Die meisten bekannten photoschaltbaren Moleküle zeigen kein quantitatives reversibles Schaltverhalten; das beschriebene System **1₀/1_c** dagegen weist einen ausgezeichneten Ermüdungswiderstand sowie eine hohe thermische Stabilität auf. Die quantitative Reversibilität des Schaltvorgangs ermöglicht, einen durch dieses photoschaltbare Medium wandernden Lichtstrahl durch einen weiteren Lichtstrahl zu steuern. Auf diese Art kann ein Lichtstrahl die in ihm kodierte Information auf einen anderen Lichtstrahl so übertragen, dass alle optischen Modulationen unter Nutzung linearer optischer Effekte erreicht werden können.

[*] Prof. Dr. J. Yoon
Department of Chemistry and Nano Science
Ewha Womans University
Seoul 120-750 (Republik Korea)
E-Mail: jyoony@ewha.ac.kr

[**] Unsere Arbeit wurde durch die National Creative Research Initiative der National Research Foundation of Korea (NRF) gefördert. (MSIP; 2012R1A3A2048814).

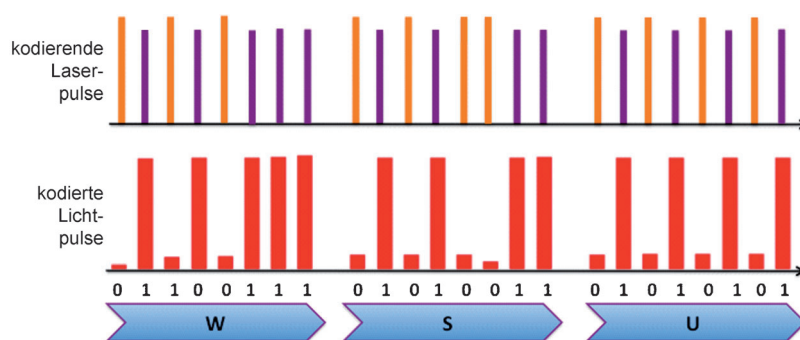


Abbildung 2. Laserpulse dienten als Photoschalter, um mit dem 1 enthaltenden Medium die Zeichenfolge „WSU“ zu kodieren. In dieser Anordnung wird durch Licht der Wellenlänge 375 nm (violett) „1“ kodiert, während Licht der Wellenlänge 561 nm (orange) „0“ kodiert. Ringöffnung von 1_{C} und Ringschluss von 1_{O} führen dazu, dass das Medium zwischen lichtundurchlässigem und lichtdurchlässigem Zustand schaltet, und ermöglichen so die Ausgabe der 8-Bit-ASCII-Zeichen, die „WSU“ entsprechen.

Im Experiment von Zhu, Li et al. bestand der erste Lichtstrahl aus zwei Lasern mit Wellenlängen von 561 und 375 nm, während es sich beim zweiten Lichtstrahl um weißes Licht handelte. Licht mit der Wellenlänge 375 nm führte zum Ringschluss von 1_{O} , was zum Anschalten der Absorption und damit zur Kodierung der binären Information „1“ in der Absorptionseinheit führte. Dagegen bewirkte Licht mit der Wellenlänge 561 nm die Ringöffnung, was die Absorption ausschaltete und die binäre Information „0“ kodierte. Arbeiten diese beiden Laser gemäß der 8-Bit-ASCII-Zeichenkodierung, so ergibt sich sinnvolle Information in menschenlesbarer Darstellung. Abbildung 2 verdeutlicht, wie diese Laser die Zeichenfolge „WSU“ mithilfe der photoschaltbaren Moleküle auf den weißen Lichtstrahl übertragen. Da der Buchstabe U im 8-Bit-Code 01010101 entspricht, sind zu seiner Darstellung abwechselnde Pulse beider Laser nötig. In ähnlicher Form kann jeder Buchstabe kodiert und zur Telekommunikation per Lichtwellenleiter bereitgestellt werden. Abbildung 2 zeigt, wie „WSU“ von beiden Lasern kodiert und anschließend durch Lichtwellenleiter zur Empfangereinheit übertragen wird.

Das auf molekularer Logik basierende Kodieren oder Rechnen mit Licht ist ein relativ junges Gebiet, das aber dennoch reif genug ist, um seine Geschichte zu erzählen, die die Verbindung zwischen Informationstechnologie, Materialwissenschaften und Chemie beleuchtet.^[3,4] Die photochromen bistabilen Bisarylethene können durch Licht von offenen in geschlossene Formen und umgekehrt umgewandelt werden. Allerdings gibt es zwar ausführliche Studien über dieses Verhalten in Lösung,^[5,6] aber die praktische Verwendung dieser Verbindungen als Filme in Bauelementen ist nur wenig untersucht. Indem dieses Experiment einen Weg zu einer Logikschicht vollständig aus Festkörperbausteinen zeigt,^[7] beweist es, dass nichtmoduliertes Licht durch einen anderen, senkrechten Lichtstrahl kodiert werden kann, was eine photooptische Modulation Wirklichkeit werden lässt, die der bekannten elektrooptischen Modulation ähnlich ist. Tatsächlich konnten durch das Photoschalten mehr als 348 Zeichen weitergegeben werden, die der übermittelten Information entsprechen. Zusätzlich kann die photooptische Modulation bis zu 50 GHz erreichen, was für mögliche Anwen-

dungen in der Informationstechnologie schnell genug ist. Darüber hinaus sind der ausgezeichnete Ermüdungswiderstand und die quantitative Reversibilität des Schaltvorgangs entscheidend. Die Kürze der benötigten Belichtungszeiten kann ein effizientes Photoschalten zwischen den beiden Zuständen eines solchen Lichtmodulators garantieren: Der photochemische Ringschluss erfolgt nahezu quantitativ, während die Ringöffnung zu über 80% abläuft.

Zhu, Li et al. haben somit gezeigt, dass eine in einem Lichtstrahl enthaltene Information wirklichkeitsgetreu und fehlerfrei auf einen anderen, weißen Lichtstrahl übertragen werden kann. An der Kodierung eines optischen Signals wurde so demonstriert, dass sich eine neue Strategie für die Modulation von informationstragendem Licht ergibt, die fundamentale Eigenschaften molekularer Photoschalter nutzt. Durch diesen Bottom-up-Ansatz kann die Chemie also zu Fortschritten in der Informations- und der Nanotechnologie stimulieren.^[8,9]

Eingegangen am 27. Februar 2014

Online veröffentlicht am 6. Juni 2014

- [1] Y. Q. Shi, C. Zhang, H. Zhang, J. H. Bechtel, L. R. Dalton, B. H. Robinson, W. H. Steier, *Science* **2000**, 288, 119–122.
- [2] Y. Wu, Y. S. Xie, Q. Zhang, H. Tian, W. H. Zhu, A. D. Q. Li, *Angew. Chem.* **2014**, 126, 2122–2126; *Angew. Chem. Int. Ed.* **2014**, 53, 2090–2094.
- [3] A. P. de Silva, *Molecular Logic-based Computation*, RSC Publishing, London, **2013**.
- [4] S. Z. Kou, H. N. Lee, D. K. Noort, M. K. Swamy, S. H. Kim, J. H. Soh, K.-M. Lee, S.-W. Nam, J. Y. Yoon, S. S. Park, *Angew. Chem.* **2008**, 120, 886–890; *Angew. Chem. Int. Ed.* **2008**, 47, 872–876.
- [5] J. Andréasson, U. Pischel, S. D. Straight, T. A. Moore, A. L. Moore, D. Gust, *J. Am. Chem. Soc.* **2011**, 133, 11641–11648.
- [6] S. Erbas-Cakmak, E. U. Akkaya, *Angew. Chem.* **2013**, 125, 11574–11578; *Angew. Chem. Int. Ed.* **2013**, 52, 11364–11368.
- [7] A. P. de Silva, *Nature* **2008**, 454, 417–418.
- [8] P. Ceroni, G. Bergamini, V. Balzani, *Angew. Chem.* **2009**, 121, 8668–8670; *Angew. Chem. Int. Ed.* **2009**, 48, 8516–8518.
- [9] Z. Q. Guo, W. H. Zhu, L. J. Shen, H. Tian, *Angew. Chem.* **2007**, 119, 5645–5649; *Angew. Chem. Int. Ed.* **2007**, 46, 5549–5553.