



# Gedruckte Elektronik – Ende des Siliziums?

Printed Electronics – the End of Silicon?

Arved Hübler, Technische Universität Chemnitz

Mit dem Thema „Gedruckte Elektronik“ wird in diesem Themenheft ein sehr dynamisches, neues Technologiefeld vorgestellt, welches in Zukunft sicher einen starken Einfluss auf die weitere Entwicklung der Informationstechnologie haben wird. Das dabei nun „Drucken“ eine wichtige Rolle in der zukünftigen Elektronik haben soll, überrascht manchen. Hatte nicht gerade die Elektronik dem klassischen Papiermedium in den letzten Jahrzehnten stark zugesetzt, sodass schon unter dem Motto „die papierlose Welt“ das Ende des bedruckten Papiers verkündet wurde? Im Jahr 2000 hatte Microsoft eine Prognose veröffentlicht und behauptet, dass 2020 die Medien zu 90% elektronisch sein werden. Aus heutiger Sicht kann man sagen, dass Microsoft vielleicht sogar Recht behalten wird – allerdings mit einem kleinen Zusatz: Ein Großteil dieser elektronischen Medien im Jahr 2020 wird wahrscheinlich gedruckt werden.

Die Tatsache, dass wir heute Druckprodukte als eine Selbstverständlichkeit erleben, darf nicht darüber hinweg täuschen, dass Drucken eine extrem anspruchsvolle, vielleicht sogar die am weitesten fortgeschrittene Fertigungstech-

nik überhaupt geworden ist. Im modernen Massendruck werden Pixelgrößen von 15  $\mu\text{m}$  bei Geschwindigkeiten von 15 m/s auf einer Breite von 4,30 m produziert. Keine andere Technologie arbeitet bei so hoher Präzision so schnell. Zwar sind die Strukturen der Siliziumelektronik bald tausendmal kleiner als im Druck, aber die Bilder von hochbezahlten Ingenieuren, die in Reinraumanzügen Siliziumwafer mehr oder weniger in Manufaktur herstellen, erinnern fertigungstechnisch an vorindustrielle Zeiten. Hinsichtlich Kosten und Durchsatz ist der Massendruck der Siliziumindustrie um einen Faktor  $10^4$  bis  $10^8$  überlegen.

Um diese immensen Produktivitätsvorteile des Massendrucks nutzbar zu machen, waren zunächst Materialinnovationen notwendig, durch die es möglich wurde, Polymere mit elektronischen Funktionen aus Flüssigkeiten heraus zu verarbeiten. Bis heute hat sich eine ungebrochene Entwicklung immer neuer druckbarer Materialklassen ergeben. Während die Attraktivität des Siliziums in seiner hochgeordneten Kristallstruktur liegt, bieten polymere Kunststoffe schier unbegrenzte Variationsmöglichkeiten für Chemiker, um spezifische Eigen-

schaften schon auf der Molekülebene zu realisieren.

Aufgrund der ganz anderen Materialgrundlagen und Produktionsprozesse wird gedruckte Elektronik sich anders als die Siliziumelektronik entwickeln. Auch wenn vor allem siliziumgeprägte Fachleute gerne die Parameter beider Ansätze direkt vergleichen, so ist schon heute klar: Strukturgrößen von 45 nm und weniger wird es gedruckt nicht geben. Wo immer kleinere Strukturgrößen die einzige Entwicklungschance für die Siliziumelektronik sind, hat die gedruckte Elektronik ganz andere Möglichkeiten: Es können fast beliebig große Flächen bedruckt werden. Um 96 Milliarden Transistoren, die zukünftig auf einem Siliziumwafer mit 40 cm Durchmesser Platz finden könnten, mit gedruckter Elektronik realisieren zu wollen, müsste man  $62\text{ m}^2$  Substrat mit Transistoren bedrucken. Wenn man diese Fläche wie ein Buch zusammenfaltet und daraus einen handlichen Multilayer-Block mit 1.000 Substratlagen (Seiten) herstellt, hätte man nicht nur eine entsprechend hohe Anzahl von Transistoren pro Grundfläche, sondern auch noch die Möglichkeit, diese dreidimensio-



nal, durch tausend Lagen hindurch, zu verschalten. Womit auch massiv parallele, neuronale Ansätze für die Logik denkbar werden. So ist das menschliche Gehirn das beste Beispiel dafür, dass logische Schaltungen nicht in Nanodimensionen kommen müssen, um leistungsfähig zu sein. Gedruckte Elektronik, die ähnliche Parameter wie die neuronale Struktur im Gehirn ohne große Reinraumanforderungen erreichen kann, hat also starke Entwicklungspotentiale.

Doch bis es soweit ist, wird noch einige Zeit vergehen. Zwar entwickelt sich die gedruckte Elektronik schnell – 2003 wurde an der TU Chemnitz der erste massengedruckte Transistor, 2005 der erste Ringoszillator vorgestellt – doch von der Leistungsfähigkeit der klassischen Elektronik ist sie noch weit entfernt. Gedruckte Elektronik wird auf absehbare Zeit keine Konkurrenz für die etablierte Elektronik sein, sondern zunächst vor allem Felder erschließen, die mit klassischer Elektronik gar nicht erreichbar sind. Dafür hat sich in den letzten Jahren ein neues, zukünftig attraktives Marktfeld herauskristallisiert, für dessen Produkte der Begriff *smart objects* steht. Einfache Objekte des Alltags sollen eine zusätzliche Elektronik erhalten und damit eine (bescheidene) eigene Intelligenz entwickeln, um in die elektronisch vernetzte Welt eingebunden werden zu können.

Ein Leitprodukt für die gedruckte Elektronik ist heute der RFIDtag, zunächst als einfacher passiver 96 Bit Speicher. Heute noch mit Siliziumbausteinen ausgeführt, sagen viele Fachleute voraus, dass diese Anwendung im Preissegment um einen Cent nur noch mittels gedruckter Elektronik realisierbar ist. Während beim RFIDtag vor allem Logistikanwendungen diskutiert werden, zeichnet sich für die gedruckte Elektronik schon heute ein viel weiteres Anwendungsfeld ab: Besonders die Möglichkeit, Elek-

tronik auch direkt auf Papier zu drucken und somit homogen in klassische Druckprodukte zu integrieren, hat für die Medienindustrie große Reize. Denn schon seit dem letzten Jahrzehnt versucht man, die Lücke zwischen Papiermedien und elektronischen Medien zu überbrücken. Wenn auch die klassische Elektronik mit E-Books und E-Paper bisher nicht sehr erfolgreich war, so ist die Vision, die Vorteile von Papiermedien mit der umfassenden Funktionsvielfalt der Elektronik, insbesondere mit dem Internet, zu verbinden, ungebrochen. Technisch müssen dazu auch weitere elektronische Funktionen, wie etwa Anzeigeelemente, druckbar werden. Für die IT-Branche sind aus den absehbaren Entwicklungen der gedruckten Elektronik in den nächsten Jahren viele Einflüsse zu erwarten, die von der Hardwareprogrammierung bis zu neuen Anwendungen reichen und auch in der Forschung ihren Niederschlag finden werden.

Mit den folgenden Beiträgen sollen verschiedene wichtige Aspekte der gedruckten Elektronik dargestellt werden. *Serdar Sariciftci* stellt die Chemie der Funktionsmaterialien dar, deren Vielfalt sich deutlich von den bekannten Bedingungen der Siliziumelektronik abhebt und die Basis aller technologischen Entwicklungen bildet. Auch wenn die Physik der organischen Elektronik noch längst nicht vollständig verstanden ist, so macht die technische Entwicklung bei den organischen Transistoren große Fortschritte. *Heinz von Seggern* und *Christian Melzer* stellen in ihrem Beitrag den Stand der CMOS Technik in der organischen Elektronik vor. Obwohl die klassische Elektronik für den Schaltungsaufbau in der gedruckten Elektronik Pate steht, so ergeben sich bei genauerer Betrachtung doch deutliche Unterschiede, die zu einem eigenständigen Schaltungsentwurf führen werden. *Heiko Kempa* erläutert in seinem Beitrag

die Einflüsse, die sich aus Material und Prozess auf die Möglichkeiten des Schaltungsdesigns ergeben. Im abschließenden Beitrag von *Michael Beigl* werden die Fragen zur Software und Anwendungen betrachtet, die sich aus den neuen Möglichkeiten der gedruckten Elektronik ergeben. Naturgemäß können alle Beiträge nur schlaglichtartig einzelne Aspekte wiedergeben und keine umfassende Darstellung des Themas bieten. Sie sollen zur weiterführenden Beschäftigung mit dem sich schnell entwickelnden Gebiet anregen. Gedankt sei an dieser Stelle allen, die dieses Schwerpunktthema ermöglicht haben. Besonders Frau Pöhnitzsch hat mit viel Geschick die Beiträge koordiniert.



**Prof. Dr. Arved Hübler** studierte Physik an der Universität Heidelberg und der Technischen Universität Berlin. Zwischen 1992 und 1997 war er bei der Mohndruck Graphische Betriebe Gütersloh, einer Tochtergesellschaft der Bertelsmann AG, beschäftigt. In Europas größter Druckerei übernahm er die technische Leitung und wurde Mitglied der erweiterten Geschäftsführung. Im Jahre 1997 wurde Arved Hübler auf die Professur für Printmedientechnik an der Technischen Universität Chemnitz berufen. Das von ihm geleitete Institut für Print- und Medientechnik zählt zu den weltweit führenden Forschungsinstituten im Bereich der gedruckten Polymerelektronik. Im Jahr 2003 wurde der erste massengedruckte Transistor vorgestellt. 2005 entstand an der TU Chemnitz die erste vollständig gedruckte elektronische Schaltung.

Adresse: Institut für Print- und Medientechnik, Technische Universität Chemnitz, Reichenhainer Str. 70, 09107 Chemnitz, Deutschland

E-Mail: pmhuebler@mb.tu-chemnitz.de