

Zwischen Konkurrenzdruck und Krise

Der Industrietag 2009 war dem Stand und der Zukunft der Halbleiterindustrie gewidmet.

Rainer Scharf

#) Dies zeigt z. B. die Insolvenz des Speicherchipherstellers Qimonda, vgl. Physik Journal, Mai 2009, S. 23

Die globale Krise verschont auch die Halbleiterindustrie nicht.^{#)} Daher war das Motto „Quo Vadis, Halbleiter?“ des diesjährigen Industrietags des Arbeitskreises Industrie und Wirtschaft (AIW) auf der DPG-Tagung in Dresden passend gewählt. Große Hoffnungen ruhen auf organischen Leuchtdioden und der Photovoltaik.

Die Halbleiterindustrie wird 2009 einen weltweiten Umsatzrückgang von 10 % verzeichnen. Mit dieser Botschaft stimmte Tom Pearsall vom European Photonics Industry Consortium seine Zuhörer auf die Auswirkungen der internationalen Finanzkrise ein. Er erläuterte, wie sich die Entwicklung des Halbleitermarkts aus Sicht der optischen Industrie darstellt. Der weltweite Umsatz der Photonik lag 2007 mit 291 Milliarden US-Dollar über dem der Mikroelektronik (246 Milliarden). In beiden Bereichen hat Europa einen Anteil von rund einem Fünftel.

Nach zuletzt hohen Wachstumsraten droht der europäischen Photonikindustrie jetzt ein Rückgang um 12 bis 15 %: So könnte der Absatz von LEDs für Autos um 30 % und für Bildschirmhinterleuchtung um 5 % zurückgehen, während er für Beleuchtung mit Weißlicht und für Signalsysteme um 5 % zunehmen wird. Auch die europäische Photovoltaikindustrie (Umsatz 2008: ca. 20 Milliarden Euro) wird einen Umsatzrückgang von 30 % erleiden, ehe 2011 oder 2012 eine Erholung mit starkem Wachstum einsetzt, prognostizierte Pearsall.

Optoelektronik und Photovoltaik

Einen Bogen von den organischen Leuchtdioden (OLED) zur organischen Photovoltaik spannte Jan



Große organische Leuchtdioden können tageslichtähnliche Beleuchtung liefern.

Blochwitz-Nimoth von der Novaled AG in Dresden. OLEDs selbst sind nur 150 nm dick, haben leuchtende Farben und einen Betrachtungswinkel von 180°. Dadurch eignen sie sich hervorragend als Displays. Inzwischen existieren brillante 2 Zoll große OLED-Displays für Mobiltelefone ebenso wie ein 11 Zoll großer und nur 3 mm dünner OLED-Fernsehbildschirm. Als Lichtquellen ergänzen sich organische und anorganische LEDs ideal. Während letztere punktförmiges Licht wie die Sonne liefern, verbreiten die flächigen OLEDs diffuses Licht wie der Himmel. OLEDs können transparent sein, sodass sich z. B. Fenster damit beschichten lassen. Außerdem benötigen sie keine Feinstruktur aus verschiedenfarbigen Pixeln, um weißes Licht zu erzeugen, sondern nur drei transparente Schichten, die die Farben abstrahlen. Die Leistungseffizienz der weißen OLEDs liegt bereits bei 50 bis 100 Lumen/Watt (lm/W) und kommt damit den weißen LEDs nahe. Auch die im Labor gemessenen Lebensdauern sind mit rund zehn Jahren beachtlich, aber noch nicht in Produkte umgesetzt. Die Preise werden zunächst bei 1000 bis 10 000 Euro pro Quadratmeter liegen, doch Blochwitz-Nimoth erwartet, dass sie auf 10 bis 100 Euro fallen.

Die organische Photovoltaik tritt gegen Dünnschicht-Solar-

zellen aus amorphem Silizium an, die eine Effizienz um 6,5 % haben, aber schon bald 8 % erreichen könnten. Solarzellen aus kleinen organischen Molekülen oder Polymeren haben inzwischen Wirkungsgrade von 5 bzw. 6 %. Sie zeichnen sich durch eine hohe Leerlaufspannung von 2,2 V aus. Ziel ist es, das gesamte Sonnenspektrum einschließlich des Infraroten nutzen zu können und Effizienzen von über 8 % zu erreichen. Zugleich gilt es, die Stabilität und Lebensdauer der organischen Solarzellen von derzeit 10 bis 15 Jahren weiter zu erhöhen.

Der Weltmarkt für anorganische Leuchtdioden wird von 5,1 Milliarden Dollar 2008 in diesem Jahr voraussichtlich geringfügig zurückgehen, doch dann erwarten Analysten wieder jährliche Zuwachsraten von 19 %. Klaus Streubel von der OSRAM Opto Semiconductors GmbH in Regensburg, dem weltweit zweitgrößten Hersteller von LED-Produkten, erläuterte, dass LEDs vor allem in mobilen Geräten wie Handys und Laptops zum Einsatz kommen, in Anzeigetafeln und Bildschirmen sowie in Lampen und in Autos. Allein im Autoinnenraum finden sich inzwischen Hunderte LEDs. Da weltweit 19 % der elektrischen Energie der Beleuchtung dienen, ließen sich durch eine um 50 % effizientere Beleuchtung mit

LEDs etwa 460 Millionen Tonnen CO₂ vermeiden.

Die 0,1 bis 1 mm großen Leistungs-LEDs erreichen für rotes und blaues Licht schon sehr hohe (externe) Effizienzwerte von über 50 %. Für weißes Licht wurden im Labor mit Dünnschicht-LEDs Effizienzen von über 170 lm/W gemessen, während kommerzielle weiße LEDs über 100 lm/W schaffen. Das ist zehnfach so groß wie bei einer Glühbirne und knapp doppelt so groß wie bei einer Energiesparlampe.

Die seit 2002 eingesetzte Dünnschichttechnologie erlaubt es, die Vorder- und Rückseite einer hauchdünnen Kristallschicht zu bearbeiten und auf einen Trägerwafer zu übertragen. So ist es möglich, dass nur noch die Vorderseite Licht abstrahlt. Um weißes Licht mit der Qualität von Sonnen- oder Glühbirnenlicht zu erzeugen, wandeln unterschiedliche Phosphore blaues LED-Licht in langwelligeres Licht um. Die LEDs haben bei Dauerbetrieb eine Lebensdauer von über fünf Jahren, wobei sie nicht ausfallen, sondern schwächer werden. Dies reicht aus, um LEDs in Pkw-Frontscheinwerfern oder für die Straßenbeleuchtung einzusetzen. Feldversuche von OSRAM haben gezeigt, dass sich durch LED-Straßenbeleuchtung verglichen mit Natriumdampflampen ca. 70 % Energie einsparen lassen. Das 21. Jahrhundert wird das Jahrhundert der LED-Beleuchtung, schloss Klaus Streubel.

Die Photovoltaik wird der dominierende Wachstumsmotor der Halbleiterindustrie sein, prognostizierte Jörg Müller von der Q-Cells SE in Bitterfeld-Wolfen, dem weltgrößten Solarzellenhersteller. Während die Photovoltaik im Jahr 2000 erst 19 % der Siliziumproduktion verbraucht hatte, lag ihr Anteil 2008 schon bei 68 % und für 2009 voraussichtlich bei 80 %. Weltweit wurden 2006 rund 2500 MWp (Peakleistung) mit Solarzellen produziert, 2008 waren es bereits über 7000 MWp. Die jährlichen Wachstumsraten von etwa 30 % spiegeln sich auch in der Produktion von Q-Cells wider, die von 9 MWp im Jahr

2002 auf 574 MWp im vergangenen Jahr gestiegen ist.

Polykristalline Solarzellen haben derzeit Wirkungsgrade bis 16,6 %, kommerzielle monokristalline Zellen könnten in einigen Jahren 21 % erreichen, während Dünnschicht-Solarzellen zwischen 5 und 12 % liegen. Noch ist Solarstrom etwas teurer als konventioneller Strom, um 2014 könnte er in Deutschland aber konkurrenzfähig werden, meinte Jörg Müller.

Technologien und Materialien

Die metallorganische Gasphasenepitaxie (MOCVD) erlaubt es, Verbindungshalbleiter mit sehr hoher Schichtdickenhomogenität herzustellen. Bei einem 4-Zoll-Wafer z. B. sind 2 nm dicke Schichten mit einer Genauigkeit von 0,5 nm möglich. Auf die Fläche Deutschlands übertragen, entspräche das einer Dicke von 1,4 cm \pm 3 mm, sagte Michael Heuken von der AIXTRON AG in Aachen, dem weltweit führenden Hersteller von MOCVD-Anlagen. Um z. B. bei der LED-Herstellung GaAs auf ein GaAs-Substrat aufzubringen, leitet man gasförmiges AsH₃ und (CH₃)₃Ga in einen Reaktor, in dem bei 400 bis 1000 °C Methan und GaAs entstehen, das sich auf dem Substrat ablagert. Das Verfahren ist sicher und preiswert und liefert sehr homogene Kristallstrukturen mit der gewünschten Schichtdicke.

Beim OVPD-Verfahren (Organic Vapor Phase Deposition) findet hingegen keine chemische Reaktion in der Prozesskammer statt, sondern die Matrix- und die Dotiersubstanz kondensieren auf dem gekühlten Substrat. Dieses Verfahren eignet sich für die Massenproduktion komplexer geschichteter Halbleiterstrukturen aus organischem Material, z. B. OLEDs, und nutzt das Material sehr effizient zu über 50 %. Gegenwärtig lassen sich 400 \times 400 mm² große Substrate bearbeiten, doch geplant sind Anlagen für 1300 \times 1100 mm², z. B. für große OLED-Leuchtfelder.

Dielektrische dünne Schichten sind wesentlich für elektronische



Der Solarpark Rödgen bei Bitterfeld-Wolfen

Bauelemente, deren Funktion auf der Ansammlung von elektrischen Ladungen beruht. Dazu gehören logische Schaltelemente wie MOSFETs, Speicherelemente wie DRAMs oder passive Komponenten wie Kondensatoren. Um diese Bauelemente kleiner und leistungsfähiger zu machen, ersetzt man die üblicherweise verwendeten Schichten aus SiO₂ und SiN durch komplexe Oxide mit besonders hoher elektrischer Permittivität ϵ , sog. Hoch-*k*-Dielektrika, über die Susanne Hoffmann-Eiefert vom Forschungszentrum Jülich berichtete.

Die zunehmende Miniaturisierung der Bauelemente stößt an physikalische Grenzen. So treten z. B. unerwünschte Tunnelströme auf, sobald die SiO₂-Gateoxidschichten dünner als 2 nm sind. Um diese Schichten bei gleichbleibend hoher elektrischer Kapazität wieder dicker machen zu können, verwendet man zunehmend Hoch-*k*-Dielektrika mit $\epsilon > 3,9$ (was der Permittivität des als Gate-Material üblichen Siliziumdioxid entspricht). Führende Halbleiterfirmen setzen mittlerweile das Oxid HfO₂ mit $\epsilon \approx 20$ kombiniert mit metallischen Gate-Elektroden in der CMOS-Produktion ein. Exotischere Perovskite wie das Seltenerdoxid LaLuO₃ haben noch größere ϵ -Werte und werden zurzeit intensiv auf ihre Eignung als Gate-Oxide und auf ihre Kompatibilität mit existierenden Halbleiterstrukturen hin erforscht. Darüber hinaus sollen auch Speicherelemente wie DRAMs oder Kondensatoren durch Hoch-*k*-Dielektrika, z. B. ZrO₂ ($\epsilon \approx 40$) oder SrTiO₃ ($\epsilon > 150$), weiter schrumpfen. Das berühmte Moore'sche Gesetz scheint also vorerst nicht in Gefahr zu sein.