

■ Die nächste Transistorgeneration

High-k-Materialien ermöglichen kleinere Chipstrukturen.

Das Mooresche Gesetz ist seit mehr als 40 Jahren das Paradigma der Halbleiterindustrie. Es besagt, dass sich die Zahl der Transistoren auf einem Chip ungefähr alle zwei Jahre verdoppelt. Die modernsten Prozessoren entstehen heute in einer 65-nm-Technologie, und innerhalb eines Jahres wollen die

seit vier Jahrzehnten verwendete Siliziumdioxid besitzt.

Eine Erkenntnis, die nicht neu ist: Seit mehreren Jahren diskutieren Forscher über den Einsatz von solchen High-k-Materialien, die wegen ihrer höheren Dielektrizitätskonstanten größere Schichtdicken ermöglichen. Quasi zeitgleich haben nun Intel und IBM angekündigt, in ihren 45-nm-Prozessen Transistoren mit solchen High-k-Materialien zu nutzen. IBM – mit seinen Entwicklungspartnern AMD, Sony und Toshiba – gibt sich bei den Details noch zugeknöpft als Konkurrent Intel. Dieser veröffentlichte immerhin, dass es sich bei dem Siliziumdioxid-Ersatz um eine Hafnium-Verbindung handeln wird. Dank ihrer höheren Dielektrizitätskonstante sinkt der Verluststrom laut Intel um den Faktor zehn. Am Übergang zwischen Polysilizium-Gate und High-k-Isolatorschicht baut sich dann jedoch eine Raumladung im Halbleiter auf, die sich als unerwünschte Kapazität auswirkt. Daher fertigen die Unternehmen das Gate künftig aus einem Metall.

Die Entwicklung lässt sich in die vorhandenen Fertigungslinien integrieren, ohne dass die Hersteller hierfür die Produktionsanlagen und -prozesse groß ändern müssten. Ein entscheidender Vorteil für eine Branche, die Milliarden in neue Fabriken investieren muss und sich im Massengeschäft mit sinkenden Verkaufspreisen konfrontiert sieht. Intel will das High-k-Metallgate noch in diesem Jahr in der 45-nm-Produktion einführen, IBM will 2008 nachziehen.

■ Schaltbare Fenster

Dank einer neuen Legierung lassen sich schaltbare Fenster billiger und in höherer Qualität fertigen.

An heißen Tagen könnten schaltbare Fensterscheiben in Gebäuden eine zu starke Erwärmung der Innenräume verhindern. Immer wieder gab es in den vergangenen Jahren entsprechende Prototypen und Produkte – letztere allerdings

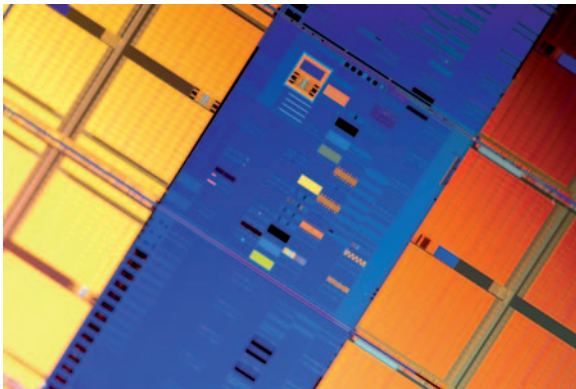
bislang ohne übermäßigen Markterfolg. Dabei ist die Idee verlockend, da sich durch spiegelnde Scheiben im Sommer der Stromverbrauch von Klimaanlage senken ließe.

Nun haben Wissenschaftler des japanischen National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST) einen Prototypen vorgestellt, der zwei Vorteile gegenüber bisherigen Entwicklungen bietet: Die Ausgangsmaterialien sind billiger, und sie führen zu keiner unerwünschten Verfärbung der Fensterscheibe.



Links Spiegel, rechts Fenster: Durch Zuführen von Wasserstoff oder Sauerstoff lässt sich das Fenster umschalten.

Kazuki Yoshimura und Shanhu Bao bauten ein solches Fenster aus zwei 60 mal 70 cm großen Teilen auf, deren Innenseiten mit einer 40 nm dicken Legierung aus Magnesium und Titan beschichtet sind. Auf diese brachten sie eine 4 nm dünne Schutzschicht aus Palladium auf. Das Palladium dient als Katalysator und als Oxidationsschutz für das Magnesium. Wenn die Wissenschaftler in den Raum zwischen den Scheiben etwas Wasserstoff einleiten, hydriert die Metalllegierung und die Scheiben werden durchsichtig. Eine Wasserstoffkonzentration von einem Prozent genügt bereits. Wenn sie dagegen Sauerstoff in einer Konzentration von rund 20 Prozent zuführen, dehydriert die Metalllegierung und die Scheiben spiegeln. Zur Erzeugung der benötigten kleinen Gas-mengen dient die Wasserelektrolyse. Die Wissenschaftler stellten die Magnesium-Titan-Legierung durch Magnetronzerstäubung (Magnetron Cosputtering) her und experimentierten dabei mit verschiedenen Mischungsverhältnissen, um die optimale Zusammensetzung zu finden.



Für die Fertigung noch kleinerer Strukturen auf Chipwafern als bisher sind Materialien nötig, die eine höhere Dielektrizitätskonstante besitzen als das bislang gängige Siliziumdioxid.

ersten Hersteller zu einer 45-nm-Chipfertigung wechseln. Das größte Problem der fortschreitenden Miniaturisierung der Transistoren sind dabei Quanteneffekte, da einzelne Isolierschichten inzwischen so dünn ausfallen, dass Elektronen durch sie tunneln können. Dies führt zu Leckströmen und höherer Verlustwärme – und verringert den theoretisch möglichen Leistungszuwachs einer neuen Chipgeneration.

Einer der kritischen Punkte ist die isolierende Schicht des CMOS-Transistors (Complementary Metal-Oxide Semiconductor) zwischen Gate und Leitungskanal. Im heute gängigen 65-nm-Prozess ist diese Schicht 1,2 nm dünn, was gerade einmal fünf Atomlagen entspricht. Für die 45-nm-Technologie wären Schichten von 0,8 nm Dicke erforderlich, diese zeigten aber bei Labormustern zu große Verlustströme. Es musste also ein neues Material her, das eine höhere Dielektrizitätskonstante als das

Die Idee mit der Hydrierung und Dehydrierung als Schaltprinzip ist nicht neu: Niederländische Wissenschaftler hatten sie bereits in den 90er-Jahren. Allerdings nutzten sie eine Yttrium-Lanthan-Legierung, deren hohe Materialkosten sich nicht mit Fensterscheiben für den Massenmarkt vertrugen. Andere Forschergruppen experimentierten daher mit Magnesium-Nickel-Legierungen, erreichten mit ihnen aber nie eine wirklich transparente Scheibe.

Ziel ist nun, die Langzeitstabilität der Scheiben weiter zu verbessern und weitere Einsatzmöglichkeiten für die Legierung zu finden.

■ Origami mit Spiegeln

Dank eines gefalteten Strahlengangs schrumpft eine Kameraoptik auf wenige Millimeter Dicke.

Bei Überwachungskameras in unbemannten Fluggeräten oder tragbaren Infrarot-Teleskopen spielt das Gewicht eine wesentliche Rolle. Oft sind die dort genutzten Kamerasysteme noch zu sperrig und schwer. Zwar gibt es heute miniaturisierte Kameras, etwa in Mobiltelefonen, aber ihre Abbildungsqualität lässt zu wünschen übrig.

Wissenschaftler der University of California San Diego in La Jolla haben nun einen Ansatz für die Lösung des Problems vorgestellt.¹⁾ Eric Tremblay und Kollegen vom Department of Electrical and Computer Engineering bedienten sich dafür des im 17. Jahrhundert entwickelten Cassegrain-Designs, das bei Teleskopen für die Astronomie zum Einsatz kommt. Ein Cassegrain-Teleskop hat einen deutlich kürzeren Tubus als seine Brennweite erwarten lässt, weil der Strahlengang mit Hilfe zweier Spiegel gefaltet wird. Mit diesem Prinzip im Hinterkopf konzipierten die Forscher eine gefaltete Optik mit einer effektiven Brennweite von 38 mm und einer Gegenstandsweite von 2,5 m, die nur 5 mm dick ist.

Tremblay et al. verwendeten hierzu eine Planscheibe Kalziumfluorid mit 60 mm Durchmesser,

in deren Rückseite sie mit einer Diamantdrehmaschine vier konzentrische, asphärische Reflektoren schneiden und anschließend versilbern ließen. Das Licht tritt in die Frontseite der zu 89 Prozent abgeschatteten Optik durch einen nur 3,5 mm schmalen äußeren Ring ein und wird achtmal zwischen Vorder- und Rückseite des optischen Kristalls reflektiert, bevor es auf eine 1000 mal 1000 Pixel große Sensorfläche fällt. Zwischen Optik und Sensor befindet sich ein Gel, das für einen konstanten Brechungsindex sorgt.

Die abgeschattete Optik besitzt eine effektive Öffnung von 27 mm, eine numerische Apertur von 0,7 und ein Gesichtsfeld von 6,7°. Im Vergleich zu einer konventionellen Linse einer Kompaktkamera mit derselben Brennweite und numerischen Apertur unterschied sich die Abbildungsleistung der Origami-Optik im besten Brennpunkt nicht wesentlich.

Ein Nachteil der gefalteten Optik ist ihre geringe Schärfentiefe von nur 10 µm, was bei 2,5 m Gegen-



Ansichten einer integrierten Kamera: Ihr Herzstück bildet ein oberflächenstrukturierter Kalziumfluorid-Kristall.

standsweite einem Spielraum von 24 mm entspricht. Außerdem ist die Abbildungsleistung bei geringerer Helligkeit unbefriedigend: Wenn die Forscher die Lichtintensität um den Faktor zehn reduzierten, war das Bild ziemlich verrauscht. Mit Hilfe von digitalen Bildbearbeitungsverfahren und Änderungen am Design ließen sich jedoch bereits merkbliche Verbesserungen erreichen.

Michael Vogel

1) E. J. Tremblay et al., Appl. Opt. 46, 463 (2007)