

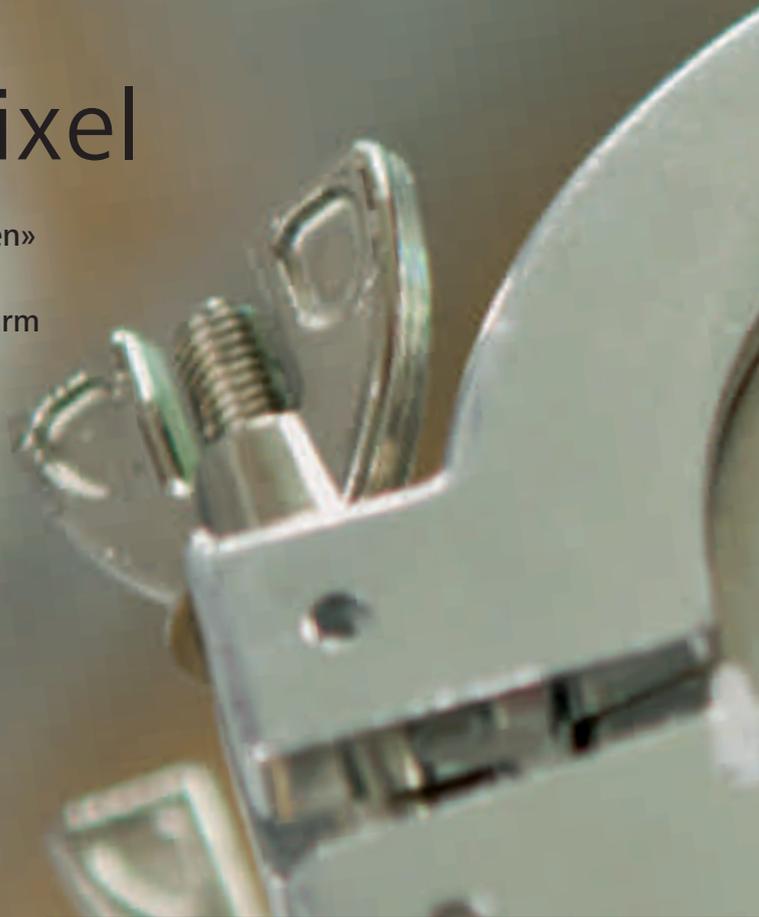
Flugshow der Pixel

Zehn Jahre Forschung an polymeren «Sprengstoffen» führten zu einem hell leuchtenden Ergebnis und einem Etappensieg auf dem Weg zum Farbbildschirm per Laserverfahren.

TEXT: Rainer Klose / BILDER: Empa



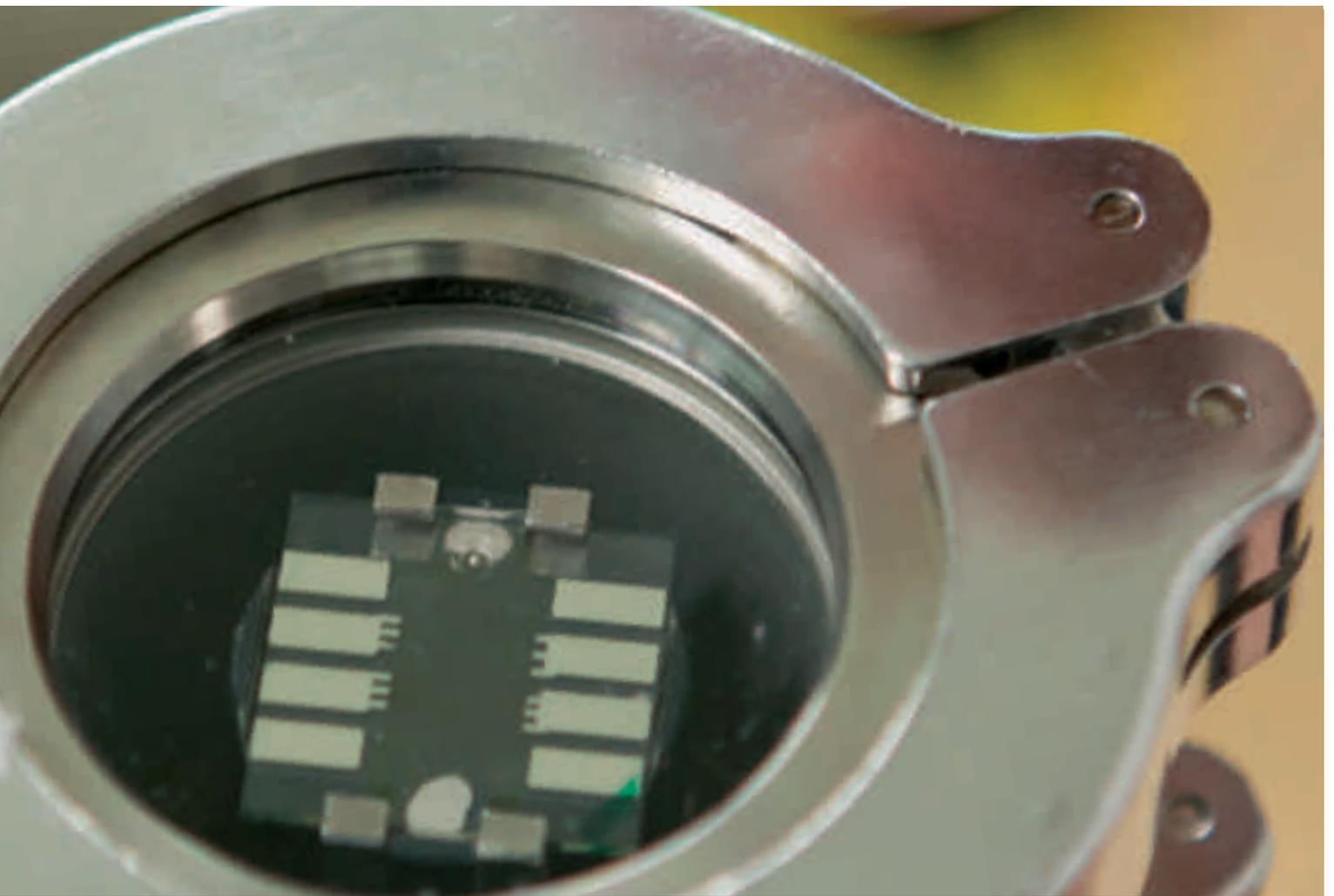
Doktorand James Shaw-Stewart (links) und Projektleiter Matthias Nagel betrachten den fertigen Chip: Auf der Platine, die in Schutzgasatmosphäre eingeschlossen ist, sollen Pixel in drei Farben leuchten. Damit wäre das Experiment erfolgreich.



In einem Chemielabor der Empa beugen sich zwei Männer in weissen Kitteln über einen fest verschraubten Metallzylinder mit Sichtfenster im Deckel. «Sieht brauchbar aus», konstatiert der eine. «Mal schauen, ob es funktioniert hat», murmelt der andere etwas skeptischer. Kurz darauf ist der Metallzylinder samt Inhalt in einer Halterung eingespannt. Der jüngere der beiden – der Doktorand James Shaw-Stewart – betrachtet durch ein Spektralmessgerät das Ergebnis. Ein Lächeln fliegt über sein Gesicht. Und Projektleiter Matthias Nagel ist der Stolz auf das Erreichte deutlich anzusehen.

Triazenpolymer – ein explosiver Kunststoff

Was die Empa-Forscher so erfreut, sind drei kleine Punkte, die im Innern des Zylinders rot, grün und blau leuchten. Das sind nicht etwa gewöhnliche Leuchtdioden (LED), sondern die ersten Proben eines leuchtenden Kunststoffs – eines LEP, «light emitting polymer». Die Besonderheit: Die drei farbigen Pixel wurden mit einer speziellen, an der Empa in Zusammenarbeit mit dem Paul Scherrer Institut (PSI) erforschten Methode auf den Trägerchip «geschossen». Ein explosiver Kunststoff – ein Triazenpolymer – macht's möglich. Dieser wird mit einem Laserblitz belichtet, zerfällt daraufhin innerhalb von Sekundenbruchteilen und erzeugt dabei grosse Mengen Stickstoff. So wird alles, was darüber liegt, lokal «weggesprengt» und fliegt mit hoher Ge-



schwindigkeit ins Ziel. Der Clou: Wenn alles richtig eingestellt ist, bleiben die weggesprengten Schichten unbeschädigt und funktionieren weiter.

Die Art der «Treibladung» aus Triazenpolymeren, aber auch alle anderen ballistischen Parameter (etwa die optimale Entfernung zum Ziel, die Menge des Treibstoffs, die Stärke des Laserblitzes, der Luftdruck in der Umgebung) sind an der Empa und am PSI akribisch untersucht und optimiert worden. Nur wenn alles harmonisiert, kommen die Leuchtpixel unzerstört am Bestimmungsort an. Die Technologie trägt das Kürzel LIFT – Laser-induced forward transfer (zu Deutsch etwa: Laser-ausgelöste Materialübertragung).

Worin aber liegt der Sinn, leuchtenden Farbpixeln das Fliegen beizubringen? Zum Beispiel um mit den drei Grundfarben – Rot, Grün, Blau – einen Farbbildschirm zu konstruieren. Die einzelnen Bildpunkte liessen sich nach der Empa-PSI-Methode elegant mit einem Laserverfahren aufbringen. Punktgenau, lösungsmittelfrei, preiswert. «Damit haben wir gezeigt, dass das System funktioniert», sagt Nagel. «Nun muss die Industrie sich der Sache annehmen und das Verfahren zur Marktreife weiterentwickeln.»

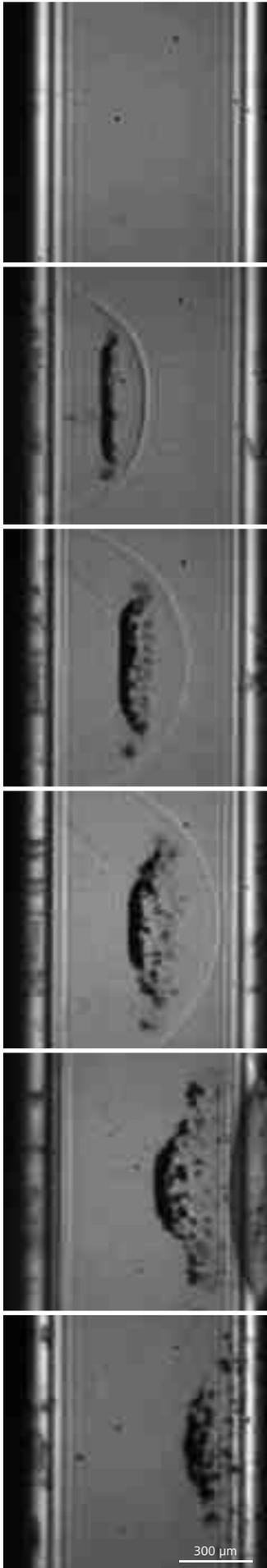
Was Nagel beschreibt, ist der vorläufige Endpunkt eines bald zehnjährigen Forschungsprojekts – und zugleich ein typischer Fall für die industrienahen Grundlagenforschung, wie sie an der Empa betrieben wird. Kurz nach der Jahrtausendwende stiess Matthias Nagel auf

die Triazenpolymere, die bereits in den 1990er-Jahren entwickelt und seit dem vorwiegend in der Lithographie verwendet worden waren. Dabei schoss man mit dem Laser auf die Triazenschicht, sprengte die belichteten Stellen lokal weg und erhielt so ein hochpräzises Relief – eine Art Druckplatte.

Puffern und Titrieren für einen glasklaren Film

Die Projektpartner Empa und PSI wollten einen Schritt weiter gehen: Was passiert, wenn die Triazenschicht von hinten beleuchtet wird? Lassen sich so nützliche «Mikro-Explosionen» erzeugen? Doch vor den Erfolg hatten die Götter die Arbeit gesetzt – in diesem Fall die Mühsal einer sorgfältigen chemischen Synthese. Zwar gab es ein «Rezept» für Triazenpolymere, das ein Doktorand an der Technischen Universität München entwickelt hatte, doch das Ergebnis war wenig befriedigend. «Als wir das nachkochten, erhielten wir eine bräunliche Knödelsuppe», sagt Nagel. «Das taugte zwar für die Lithographie, doch wir mussten für unsere Versuche definierte, dünne Schichten herstellen. Und dazu war das Material unbrauchbar.»

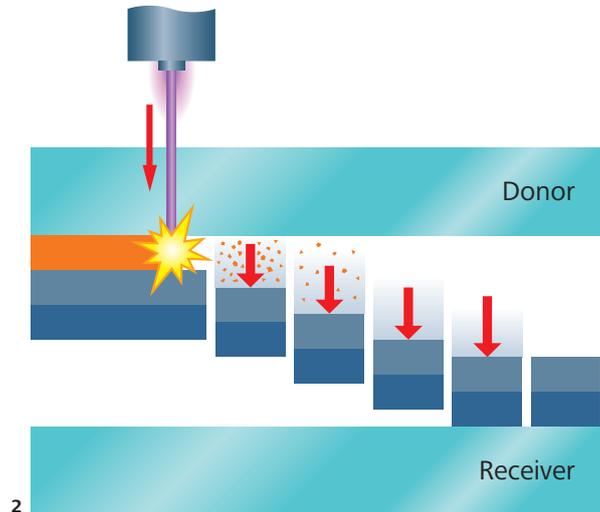
Nagel analysierte die Syntheseprozedur Schritt für Schritt und fand schliesslich die Schwachstelle: Im Münchner Rezept wurde an einem bestimmten Punkt die Säure zu schnell neutralisiert. Alles kippte ins Alkalische, wodurch eine unerwünschte Nebenreaktion stattfand – was zu den «Knödeln» führte. Die Lösung



1

1
Pixel im Vorbeiflug: Von der «Abschussrampe» links im Bild bis zum «Ziel» rechts ist es nur ein Millimeter Flugstrecke. Man beachte die Druckwelle auf den Bildern 2, 3 und 4, die mit Schallgeschwindigkeit dem Pixelfarbstoff vorausweilt. Wird zu viel der Triazen-Treibladung genommen, dann würde der Pixel schneller als der Schall fliegen und beim «Überholen» der Druckwelle zerstört. Auch diesen Fall haben die Forscher fotografisch dokumentiert.

2
Schematische Darstellung des so genannten «LIFT»-Verfahrens: Per UV-Laserblitz wird die Triazenschicht (orangefarben im Bild) zur Explosion gebracht. Dabei entsteht gasförmiger Stickstoff, der die darüber liegenden Schichten ins Ziel schiebt. Die Methode ist so schonend, dass auch empfindliche Farbstoffe und sogar lebende Zellen befördert werden können.



2

musste heissen: puffern und titrieren – was jeder Student, jede Studentin der Chemie im ersten Semester lernt und ausgiebig übt. Wird der pH-Wert kontrolliert abgesenkt, entsteht sauberes Triazenpolymer. Einem glasklaren, hauchdünnen Film stand nun nichts mehr im Weg.

Mit dem so hergestellten Material liess sich prächtig experimentieren. Schon 2006 konnten Biologinnen und Physiker mit Nagels Filmproben erstmals Nervenzellen auf einen Objektträger katapultieren. Im Ziel angekommen, lebten die Zellen weiter und teilten sich sogar. Damit war eine sehr schonende Methode für Materialtransfer in kleinsten Mengen gefunden.

Der gepixelte Osterhase als Beweis

Doch Wissenschaft ist mehr als Ingenieurskunst: Sie will nicht nur, dass es funktioniert, sie will auch eine Erklärung warum. 2007 kamen daher Silberschichten an die Reihe. «Wir schossen Löcher mit geringer Energie von nur 65 Millijoule pro Quadratentimeter in eine Triazenpolymerschicht, auf die wir eine Schicht Silber aufgebracht hatten. Solch schwaches Laserlicht hätte nie gereicht, um die Silberschicht zu verdampfen», erläutert Nagel. Und doch war das Silber an den belichteten Stellen verschwunden. Damit war der Beweis erbracht, dass die Triazenschicht das darüber liegende Silber präzise weggesprengt hatte. Den damaligen Probenträger hütet Nagel noch heute in seinem Schreibtisch: das Bild eines lächelnden Osterhasen aus einzelnen winzigen Pixeln, herausgelöst aus der spiegelnden Silberschicht.

Fehlschüsse erwiesen sich als nützlich

Nach dem Fortsprengen kam als nächster Schritt der «Zielschuss». Die Doktoranden Romain Fardel und James Shaw-Stewart untersuchten mit Nagels Unterstützung die Flugeigenschaften des verschossenen Materials. Immer wieder fabrizierten sie Probenträger an der Empa, pendelten zum PSI, wo sie die Laserblitze drauf abfeuerten, dann ging es zurück zur Empa, um die Ergebnisse zu charakterisieren.

Gerade die Fehlschüsse halfen den Forschern weiter: Warum flog dieses Pixel unvollständig ins Ziel? Warum bringt eine dickere Triazenschicht keine besseren Ergebnisse? Wieso schadet zu starkes Laserlicht dem Ergebnis? Unter anderem fanden die Forscher heraus, dass beim Schuss eine Schockwelle entsteht. Das verursacht Probleme: Ein zu heftiger Laserblitz beschleunigt das verschos-

sene Material auf Überschallgeschwindigkeit. Sobald es durch die vorausseilende Schockwelle fliegt, wird es pulverisiert – nichts kommt mehr am Ziel an.

Nun ist die Industrie am Zuge

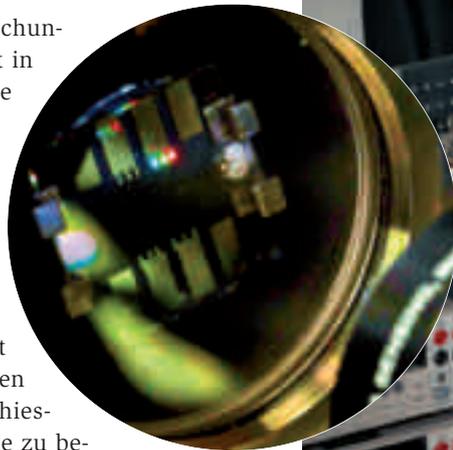
Dutzende wissenschaftliche Veröffentlichungen entstanden über die Zeit, publiziert in Fachzeitschriften wie «Applied Surface Science», «Journal of Physical Chemistry» oder sogar als Titelstory in «Macromolecular Chemistry and Physics». Nun dürften die Kollegen und Kolleginnen an Universitäten und in der Industrie wissen, wie sie es machen müssen, etwa: Den Spalt zwischen Abschuss und Ziel richtig festlegen, damit das Material nicht an beiden Seiten kleben bleibt. Bei vermindertem Luftdruck schießen, um der zerstörerischen Schockwelle zu begegnen. Das Laserlicht richtig bemessen, damit die empfindlichen Farbstoffe auch im Ziel noch schön leuchten.

Doch der Moment voller Stolz über ein gelungenes Experiment ist zugleich ein Moment des Abschieds: Die drei farbig leuchtenden Punkte waren eines der vorläufig letzten Experimente auf dem Gebiet der fliegenden Pixel an der Empa. Denn das System ist nun charakterisiert und durchschaut; den weiten Weg zu einer kommerziellen Anwendung muss ab jetzt die Industrie bestreiten. Das kann – und soll – eine nationale Forschungsinstitution nicht leisten. James Shaw-Stewart wird aus den Ergebnissen seine Doktorarbeit verfassen, die im Frühjahr fertig sein soll. Dann wird er weiterziehen.

Mit dem Ende des Projekts LIFT wird sich auch Projektleiter Matthias Nagel einem neuen Thema zuwenden. Ideen für nächste Projekt hat er bereits, um fehlende Knacknüsse muss er sich keine Sorgen machen: «Grundsatzprobleme aus dem Gebiet der Funktionspolymere gibt es genügend», sagt Nagel und schmunzelt. Photovoltaik mit organischen Materialien wird an der Empa intensiv untersucht. «Hier gibt es Fragen zu Grenzflächen und Morphologien, die noch nicht geklärt sind.» Nagel wird sich etwas suchen, das nicht – oder noch nicht – funktioniert. Und damit fängt seine Forscherarbeit wieder ganz von vorne an. //



3



4

3
James Shaw-Stewart bereitet unter Schutzgasatmosphäre die Probe vor.

4
Erfolg! Die Pixel leuchten und sind unversehrt im Ziel angekommen. Der Empa-Forscher sieht das Ergebnis im Spektralanalysegerät.

Link



Direkter Link zur Forschungsabteilung, zu Originalliteratur und Podcasts:
www.empa.ch/empanews