

## ■ Strahlend kalt

**Ein passives System kühlt sich bei Sonnenschein um fünf Kelvin unter die Umgebungstemperatur ab.**

Die Kühlung von Gebäuden trägt maßgeblich zum weltweiten Energieverbrauch bei. Zum Beispiel sind Klimaanlageanlagen in den USA für fast 15 Prozent der Primärenergie verantwortlich, die in Gebäude



Dieses Gerät ermöglicht eine Strahlungskühlung auch bei direkter Sonneneinstrahlung.

gesteckt wird. Daher sind passive Kühlverfahren gefragt, die ohne elektrische Energie auskommen. Bereits mehrfach haben Forscher Verfahren zur Strahlungskühlung im Labormaßstab demonstriert. Dabei emittiert ein Gerät besonders stark im Spektralbereich zwischen 8 und 13  $\mu\text{m}$ , wo die Erdatmosphäre nur wenig absorbiert, und kühlt sich dabei unter die Umgebungstemperatur ab. Allerdings funktionierte das immer nur bei Nacht, wenn kein Sonnenlicht das Gerät erwärmte. Wissenschaftler der Stanford University haben nun ein Verfahren erdacht, mit dem auch bei direkter Sonneneinstrahlung eine Strahlungskühlung möglich ist. Ihr Vorführsystem kühlt für mehrere Stunden unter quasi senkrechtem Einfall des Sonnenlichts um knapp fünf Kelvin unter die Umgebungstemperatur ab.<sup>1)</sup>

Die Forscher optimierten dazu mit einem Simulationsprogramm die Strahlungsbilanz des Systems, das aus einer Silberschicht und verschiedenen Lagen Siliziumdioxid ( $\text{SiO}_2$ ) und Hafniumdioxid ( $\text{HfO}_2$ ) aufgebaut ist. Ziel war eine vollständige Reflexion über das Sonnenspektrum und eine ideale Emissivität zwischen 8 und 13  $\mu\text{m}$ . Der resultierende Strahlungskühler

besteht aus einer Folge von sieben wechselnden  $\text{SiO}_2$ - und  $\text{HfO}_2$ -Schichten, die 13 bis 688 nm dick sind. Die unten liegende Silberschicht ist 200 nm dick und reflektiert 97 Prozent des Sonnenlichts. Der auf einen Wafer aufgebrachte Demonstrator hat einen Durchmesser von 200 mm. Zum Schutz vor Wärme aus der Umgebung befindet er sich in einem Gehäuse. Die Kühlleistung beträgt 40  $\text{W/m}^2$ .

Im nächsten Schritt wollen die Forscher einen größeren Strahlungskühler fertigen. Während die Beschichtung großer Flächen kein grundlegendes technisches Problem darstellt, ist die thermische Isolierung gegenüber der Umgebung eine Herausforderung.

## ■ Schmalbandig und grün

**Eine bei 530 nm emittierende LED erreicht eine um 50 Prozent höhere Lichtausbeute als übliche LEDs.**

Grün emittierende Leuchtdioden hoher Effizienz sind aufgrund des „Green Gap“ noch immer ein Problem. Denn die Lichtausbeute der LEDs, die auf Indium-Gallium-Nitrid ( $\text{InGaN}$ ) beruhen, sinkt im grünen Spektralbereich um mehr als eine Größenordnung. Elektrostatische Kräfte und innere Spannungen führen in den mehrschichtig aufgebauten LEDs dazu, dass die Elektronen und Löcher in den lichtemittierenden Schichten tendenziell weiter voneinander entfernt sind. Das erschwert ihre Rekombination und verringert die Lichtausbeute. Mit steigendem Indium-Anteil verschiebt sich die Wellenlänge der LED immer weiter vom Blauen ins Grüne, sodass dieser Effekt immer stärker wird.



RGB-Projektoren benötigen schmalbandige LEDs hoher Lichtausbeute.

Forschern von Osram Opto Semiconductors ist es gelungen, die grüne Lücke weiter zu schließen. Sie haben die Materialqualität eines LED-Prototyps deutlich gesteigert und die Ladungsträgerdichte in den aktiven Schichten verringert, indem sie das Volumen vergrößerten. Der Prototyp besitzt bei einer Wellenlänge von 530 nm eine spektrale Bandbreite von 35 nm und weist eine Lichtausbeute von 147  $\text{lm/W}$  bei einem Referenzstrom von 350 mA auf. Das entspricht einer um etwa 50 Prozent höheren Lichtausbeute als bei vergleichbaren handelsüblichen grünen LEDs. Hauptanwendung könnten RGB-Projektoren sein, die durch die effizientere grüne LED höhere Leuchtdichten erreichen und den Farbraum besser abdecken.

Für Anwendungen in der Allgemeinbeleuchtung, die keine besonders schmalbandigen LEDs erfordern, haben die Osram-Forscher einen zweiten Prototyp entwickelt: Diese grüne LED erreicht eine Lichtausbeute von 209  $\text{lm/W}$  bei 350 mA und hat etwa 100 nm spektrale Bandbreite. Sie erzeugt das grüne Licht mithilfe eines Konversionsleuchtstoffs aus blauem Licht.

## ■ Himmlische Datenautobahn

**Eine optische Kommunikationsverbindung zwischen Satelliten transportiert riesige Datenmengen.**

Erdbesichtigungssatelliten liefern eine Flut von Informationen, die nur mit hohem Aufwand zeitnah verfügbar sind. Sie kreisen in wenigen hundert Kilometern Höhe um die Erde und haben daher nur für kurze Zeit Kontakt zu einer Bodenstation. Soll ein Satellit nahezu in Echtzeit Daten liefern, müssten Bodenstationen rund um die Welt verfügbar sein. Das ist aus organisatorischen und politischen Gründen schwierig. Abhilfe schaffen geostationäre Kommunikationssatelliten in 36 000 km Höhe, die als Relaisstation dienen. Um deutlich größere Datenmengen von Satellit zu Satellit zu übertragen als bislang, hat ein Konsortium unter Federfüh-

1) A. P. Raman et al., Nature 515, 540 (2014)



Das neue Laser-Kommunikationsterminal ist deutlich kleiner und leichter als die Vorgängertechnologie.

Die Entwicklung des neuen Laser-Kommunikationsterminals wurde von der Tesat-Spacecom GmbH und mit Förderung des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt entwickelt, mit dem Satelliten optisch mit hoher Bandbreite miteinander kommunizieren können. Ein erster Test zwischen zwei Satelliten ist gelungen.

Das Terminal arbeitet mit einem diodengepumpten Nd:YAG-Laser bei 1064 nm. Sende- und Empfangseinheit nutzen dieselbe Spiegeloptik mit 135 mm Apertur. Die Datenübertragung erfolgt kohärent und phasenmoduliert. Im Test ließen sich Datenmengen von bis zu 1,8 Gigabit pro Sekunde über eine Distanz von maximal 45 000 km transportieren. Zum Vergleich: Die Vorgängertechnologie übertrug 2001 rund 50 Megabit pro Sekunde.

Die Optik des neuen Terminals bündelt den Strahl auf 10 Mikrorad – über eine Distanz von 36 000 km weitet er sich daher nur auf 800 m auf. Damit die beiden Satelliten sich überhaupt finden, wird der Strahl der Sendeeinheit zunächst über einen größeren Winkelbereich bewegt, bis die Empfangseinheit ihn detektiert hat. Dann stellt diese für die kohärente Überlagerung die gleiche Frequenz ein wie die Sendeeinheit. 2015 will die ESA den ersten von zwei operativen geostationären Satelliten starten, die künftigen Erdbeobachtungssatelliten als Relaisstation dienen sollen.

## ■ Vorbild Medizin

### Ein Detektorkonzept aus der medizinischen CT verbessert auch industrielle Tomografen.

Medizinische und industrielle Computertomografie (CT) beruhen zwar auf demselben Prinzip, unterscheiden sich aber stark in Auflö-

sung, Energiebereich und erlaubter Strahlendosis. Zur Detektion der Röntgenstrahlung dienen Zeilen- oder Flächendetektoren. Bei Tomografen mit Zeilendetektoren durchleuchtet ein fächerförmiger Röntgenstrahl einen bestimmten Abschnitt des zu untersuchenden Objekts. Das Gesamtbild entsteht durch Scannen. Hierbei tritt kaum störende Streustrahlung auf, weil immer nur ein kleines Volumen durchleuchtet wird und die Detektoren nur Strahlung aus einem kleinen Winkelbereich empfangen. Trotz schneller Bildrate des Detektors ist das Verfahren insgesamt langsam. Dagegen durchleuchten Tomografen mit Flächendetektoren das Untersuchungsobjekt mit einem kegelförmigen Röntgenstrahl und erstellen damit in einem Rutsch einen Schnitt durch das gesamte Objekt. Entsprechend arbeiten diese CTs viel schneller, die stärkere Streustrahlung verringert jedoch die Bildqualität. Forscher des Fraunhofer-Entwicklungszentrums Röntgentechnik EZRT in Fürth, einem Bereich des Fraunhofer-Instituts für Integrierte Schaltungen IIS, haben nun das Prinzip von Mehrzeilendetektoren, die bei medizinischen CTs verbreitet sind, auf die industrielle Tomografie übertragen.

Der Demonstrator hat  $22 \times 384$  Pixel. Pixeldesign und Steuer Elektronik sind jedoch bereits für Mehrzeilendetektoren mit 256, fast beliebig langen Zeilen spezifiziert. Er vereint kurze Messzeiten mit hoher Bildqualität und ermöglicht eine nahezu echtzeitfähige Untersuchung des Objekts über die Detektorhöhe von 256 Zeilen. Der EZRT-Detektor ist auf einer gekrümmten Fläche angeordnet, was der Bildqualität zugutekommt: Wenn ein Röntgenstrahl möglichst senkrecht auf die Detektorfläche auftrifft, erzeugt er nur in einem und nicht in mehreren Pixeln gleichzeitig ein Signal. Die Forscher suchen nun Kooperationspartner, um ihren Prototyp für industrielle CTs weiterzuentwickeln.

Michael Vogel