

Das Flügelprofil hat durch die Oberflächenstrukturierung superhydrophobe Eigenschaften und behindert das Wachstum von Eiskristallen.

Weniger Halt

Oberflächenstrukturierte Bauteile verringern die Eisbildung auf Flugzeugen.

Um Eis auf Flugzeugen zu vermeiden, werden die Maschinen vor dem Start mit Chemikalien besprüht und während des Flugs die Tragflächen beheizt. Beides ist nicht nachhaltig, weil pro Enteisung mehrere hundert Liter Chemikalien anfallen und die Heizelemente den Kerosinverbrauch erhöhen. Das Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS, Dresden, hat daher gemeinsam mit Airbus und der TU Dresden die Oberflächen von Bauteilen im Nanobis Mikrometerbereich strukturiert, um das Vereisen zu verhindern oder wenigstens zu reduzieren.

Mithilfe der Direkten Laserinterferenzstrukturierung (DLIP) brachten sie zwei oder mehr Laserstrahlen kontrolliert zur Interferenz auf der Oberfläche eines Bauteils. Die periodische Modulation der Laserintensität erzeugt dann definierte zwei- oder dreidimensionale Strukturen. Für die Flugzeugenteisung hat das Team eine besonders geeignete hierarchische Struktur gefunden: Periodische Säulen im Mikrometerbereich erzeugen sie durch DLIP, die beiden weiteren Strukturebenen auf den Oberflächen der Säulen entstehen durch selbstorganisierende Prozesse.

1) X. Liu et al., Nature **578**, 550 (2020)

2) M.-B. Lien et al., Nat. Photonics **14**, 143 (2020)

Die entstandene Oberfläche besitzt superhydrophobe Eigenschaften und hemmt das Kristallwachstum an der Grenzschicht zwischen Eis und Bauteil.

Tests im Windkanal mit einer realitätsnahen Tragfläche bestätigten die Wirkung: Das Eis wuchs nur eine bestimmte Zeit und fiel ohne Beheizen wieder ab. Zudem zeigte sich, dass auf beheizten Tragflächen ohne Oberflächenstrukturierung das Eis nach 70 Sekunden verschwand; bei gleicher Heizleistung dauerte es mit Oberflächenstrukturierung nur 5 Sekunden.

Derzeit finden Tests mit einem A350-Flugzeug statt, um die Wirkung der Oberflächenstrukturierung unter realen Umgebungsbedingungen zu untersuchen. Dass DLIP sehr gut skalierbar ist und das Verfahren schon jetzt bis zu einem Quadratmeter pro Minute strukturieren kann, begünstigt eine industrielle Umsetzung.

Energie-autarke Leckortung

Um vor undichten Leitungen zu warnen, beziehen Funksensoren Energie direkt aus dem austretenden Wasser.

Laut einer Untersuchung der Zurich American Insurance Company ist Wasser der Hauptgrund für Versicherungsschäden in Büro- und Wohngebäuden. Dort gibt es zwar Sensoren, um Überschwemmungen zu verhindern. Allerdings sind die Lösungen relativ kostspielig, erfordern eine Ver-

kabelung oder den Wechsel von Batterien. Forschende der kanadischen University of Waterloo nutzten nun einen Sensor, der seine Energie aus dem Wasser bezieht, das am Leck austritt. Der Sensor ist Teil eines Netzwerks, durch das sich die lokale Warnmeldung letztlich zum Beispiel auf ein Smartphone übermitteln lässt.

Über Details des Sensors schweigen sich die Beteiligten aus, um eine Kommerzialisierung ihrer Idee zu ermöglichen. Grundlage sind nicht näher spezifizierte Nanopartikel, die eine elektrochemische Reaktion in Gang setzen, sobald sie feucht werden. Weniger als ein Milliliter Wasser reicht aus, um eine Spannung von etwa 2,4 Volt zu erzeugen. Sie sinkt im Verlauf von zwei Stunden auf etwa 1,5 Volt. Als Energiespeicher dient ein Superkondensator. Das Sensorsystem übermittelt Statusmeldungen an ein Bluetooth-Netzwerk. Der genutzte Zugangspunkt grenzt den Ort des Wasserschadens ein. Ist ein Leck beseitigt, kommt die elektrochemische Reaktion zum Erliegen: Der Sensor kehrt ohne Eingriff von außen in den Ausgangszustand zurück.

Solche Sensoren könnten für ein Zehntel der Kosten heutiger kommerziell erhältlicher Produkte zur Leckortung herstellbar sein.

Strom aus Luftfeuchte

Protein-Nanodrähte erweisen sich als wirkungsvolle Energieernter.

Die Stromversorgung mobiler Systeme ohne Kabel oder Batterie ist wichtig für das Internet der Dinge. Sogenannte Energieernter wandeln Sonnenlicht, Wärme oder Vibrationen in der Umgebung in elektrische Energie um und ermöglichen energieautarke



Der Nanodrahtgenerator konnte ein LC-Display mit Strom versorgen.

Systeme. Es gibt inzwischen einige kommerziell verfügbare Produkte und noch mehr Entwicklungen in Labors.

Auch die Luftfeuchtigkeit eignet sich prinzipiell zur Energieernte. Allerdings sind die Ergebnisse bisher bescheiden und beschränken sich auf kurze Stromspitzen deutlich unter einer Minute. Nun haben Forschende der University of Massachusetts in Amherst Nanodrähte aus Proteinen entwickelt, die mindestens 20 Stunden lang Spannungen um 0,5 Volt erzeugten.¹⁾

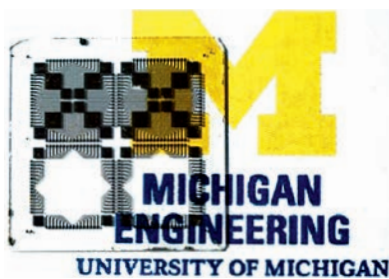
Die Beteiligten haben die Nanodrähte aus dem Protein eines Bakteriums gewonnen. Die Drähte sind 1 bis 3 μm lang, haben einen Durchmesser von etwa 3 nm und bilden zwischen zwei Elektroden aus Gold eine 7 μm dicke, netzwerkartige Schicht. In ihr entsteht ein dauerhafter Feuchtigkeitsgradient, wenn die Schicht der Umgebungsluft ausgesetzt ist. Bei 40 bis 50 Prozent Luftfeuchtigkeit resultierte die höchste Spannung; selbst bei 20 Prozent beziehungsweise 100 Prozent Luftfeuchtigkeit bildete sich noch eine nennenswerte Spannung aus.

Die Strom-Spannungs-Kurve dieses Generators verläuft ungefähr linear. Die Stromdichte betrug $17 \mu\text{A}/\text{cm}^2$, die Leistungsdichte $4 \text{ mW}/\text{cm}^2$. Das sind zwei Größenordnungen mehr als bislang. Bei einem Langzeittest über 1500 Stunden lieferte der Energieernte stabil Spannungen zwischen 0,4 und 0,6 Volt. Die Schwankungen gehen wohl auf Änderungen der Luftfeuchtigkeit im Labor zurück. Das Team lud mit dem Generator unter anderem Kondensatoren auf, um eine LED und ein LCD mit Strom zu versorgen.

Transparente Bildsensoren

Graphen ermöglicht einen neuen Ansatz für 3D-Kameras.

Das Interesse an Lichtfeldkameras ist in den vergangenen zwei Jahrzehnten stetig gewachsen. Sie bilden ein Objekt nicht nur auf einem zweidimensionalen Bildsensor ab, sondern erfassen auch die Einfallsrichtung der Lichtstrahlen. Deshalb lassen sich die dreidimensionale Gestalt und die



M.-B. Lien et al.

Jeweils zwei Graphen-Detektoren mit einer transparenten Fläche von $200 \times 200 \mu\text{m}^2$ (oben) sowie $4200 \times 4200 \mu\text{m}^2$ zeichnen sich auf einem Glasträger durch hohe Lichtdurchlässigkeit aus.

Entfernung des Objekts bestimmen. Mögliche Anwendungen finden sich in Robotik und biologischer Bildgebung. Bislang vorgestellte Lichtfeldkameras besitzen aber verschiedene Nachteile: Entweder ist das Signal-zu-Rausch-Verhältnis schlecht, die räumliche Auflösung gering oder die Aufnahme dauert so lange, dass schnelle Bewegungen nicht abzubilden sind.

Forschende der University of Michigan in Ann Arbor wollen diese Begrenzungen überwinden.²⁾ Ihr Ziel ist eine Lichtfeldkamera mit gestapelten transparenten Bildsensoren. Nun haben sie das Sensorprinzip demonstriert. Graphen absorbiert im Sichtbaren und Infraroten nur 2,3 Prozent des einfallenden Lichts, sodass sich daraus transparente Sensoren aufbauen lassen, wenn auch die metallischen Kontaktierungen im relevanten Bereich ersetzt werden. Die Graphen-Detektoren besaßen transparente Flächen von $200 \times 200 \mu\text{m}^2$ und $4200 \times 4200 \mu\text{m}^2$. Drei übereinander gestapelte Graphen-Detektoren ergeben eine Transparenz von etwa 95 Prozent. Mit zwei Ein-Pixel-Sensoren demonstrierten die Forschenden die Abbildung eines einfachen Objekts in unterschiedlichen Bildebenen und charakterisierten die Antwortfunktion der Detektoren.

Der Sprung von Ein-Pixel-Sensoren zu hochauflösenden Sensoren ist technologisch noch weit. Auch dass sich ausreichend viele Sensoren übereinander stapeln lassen, um eine hohe Auflösung des Lichtfelds zu erreichen, bedarf noch der experimentellen Bestätigung. Das Team hofft, dass bis zu zehn Sensoren möglich sind.

Michael Vogel

Ultrakurzpuls Diagnostik



- Autokorrelator
- Mikroskopie-Autokorrelator
- Spektrometer
- Spider
- FROG

Besuchen Sie uns am
6 - 8 Mai in Aachen,
Stand 59, neben der
Coffee Bar.

AKL'20
INTERNATIONAL LASER
TECHNOLOGY CONGRESS


A.P.E.
www.ape-berlin.de