



Faye Levine, University of Maryland

US-Forscher haben strahlungsregulierende Fasern zu solchen Stoffstücken verarbeitet.

Statt Zwiebelschalenprinzip

Dank elektromagnetischer Kopplung stellt sich die Wirkung eines Stoffs automatisch auf Schwitzen und Frieren ein.

Wer kennt das nicht: Wenn man sich im Freien bewegt, ist es mal zu warm und mal zu kühl. Da hilft nur, Kleidungsstücke aus- bzw. anzuziehen. Oder man setzt auf Hightech-Fasern. Wissenschaftler der University of Maryland in College Park haben einen Stoff entwickelt, der sich automatisch an die momentanen Gegebenheiten anpasst: Schwitzt man, wird das Material durchlässiger, friert man, isoliert es stärker.¹⁾ Der Mechanismus ist reversibel und stellt sich innerhalb von weniger als einer Minute um.

Das Gewebe des Stoffs besteht aus kommerziell erhältlichen Fasern, die sich aus einem hydrophoben Triacetat-Strang und einem hydrophilen Zellulose-Strang zusammensetzen. Die Forscher haben sie mit Kohlenstoffnanoröhren beschichtet und daraus einen Stoff gewoben. Die temperaturregulierende Wirkung beruht auf zwei Effekten: Ist es warm und/oder feucht, verkleinert sich der Durchmesser der Faserbündel, sodass zwischen ihnen im Stoff größere Poren entstehen. Das erleichtert den Wärmeaustausch – konvektiv, radiativ,

leitend und evaporativ. Ist es kalt und/oder trocken, nehmen die Durchmesser der Faserbündel wieder zu – die Poren des Stoffs verkleinern sich.

Entscheidend für die Temperaturregulierung ist aber der zweite Effekt, der auf den Kohlenstoffnanoröhren beruht. Sie sorgen dafür, dass sich die resonante elektromagnetische Kopplung der elektrisch leitfähigen Fasern mit der Porengröße des Stoffs verändert. Dadurch verschiebt sich die maximale Emission des Materials näher in den Wellenlängenbereich von 10 μm , wo der menschliche Körper sein Strahlungsmaximum hat. Kleine Poren führen zu schlechterer Kopplung und einem Emissionsmaximum jenseits von 20 μm . Messungen haben ergeben, dass sich die Infrarotabstrahlung an die Umgebung durch den Stoff um 35 % variieren lässt – um 12 % unter Berücksichtigung von Streuung.

Flexibel nutzbare Etiketten

Mit Licht sind Muster in einer modifizierten Polymerfolie wiederholt schreib- und löschbar.

Lumineszenz spielt in vielen Anwendungen eine zentrale Rolle, beispielsweise bei Notfallschildern in öffentli-

chen Gebäuden. Doch das Phänomen, konkret die Phosphoreszenz, lässt sich auch für andere Zwecke nutzen. So haben Physiker der TU Dresden dünne, transparente Etiketten mit einem organischen Leuchtstoff vorgestellt, die sich auf optischem Wege mehrfach beschriften und löschen lassen – mit beliebigen Mustern in einer Auflösung von mehr als 700 dpi.²⁾

Die Forscher lagern dazu ein organisches Diamin, das als gängiges Lochtransportmaterial für organische Leuchtdioden bekannt ist, in die Matrix des Polymers PMMA ein. Die resultierende Schicht auf einem Substrat ist 900 nm dünn. Auf sie kommt eine 600 nm dünne Sauerstoffspererschicht aus einem Material, wie es in der Verpackungsindustrie gängig ist. Mit UV-Licht regen die Physiker die Phosphoreszenz in der Leuchtschicht an. Gezielte Muster sind dabei machbar, entweder mittels einer Maske oder durch Scannen mit fokussiertem UV-Licht. Das Schreiben erfolgte mit 0,1 bis 7 mW/cm² und dauerte einige Sekunden bis einige Minuten. Die doppelte Intensität verringert die Beleuchtungsdauer auf die Hälfte.

Durch die UV-Bestrahlung reagieren vorhandene Sauerstoffmoleküle mit dem PMMA, sodass sie nicht mehr die Phosphoreszenz des Diamins unterdrücken können. Durch IR-Bestrahlung oder Erhitzung des Etiketts für knapp eine Minute lässt sich die Phosphoreszenz wieder abschalten, weil die Sauerstoffspererschicht durchlässig wird und Sauerstoffmoleküle wieder zum Diamin gelangen. Nach 40 Schreib-Lösch-Zyklen waren die Muster noch erkennbar. Die Dresdner Physiker haben ihr Verfahren auch an vollständig elastischen Etiketten erfolgreich erprobt.



M. Gmälch und H. Thomas, TU Dresden

Solche leuchtenden Muster lassen sich in Etiketten berührungslos erstellen und wieder löschen, auch mehrfach.

Brücken überwachen

Ein Laserscanner-basiertes Verfahren ermöglicht eine detaillierte und trotzdem schnelle Untersuchung.

In Deutschland gibt es rund 40 000 Brücken an Autobahnen und Bundesstraßen sowie 25 000 an Bahnlinien. In regelmäßigen Intervallen untersuchen Fachleute diese Bauwerke auf ihre Tragfähigkeit. Dazu müssen sie vorübergehend Sensoren an den Brücken anbringen, was den Verkehr beeinträchtigt. Zudem messen die Sensoren nur punktuell. Die Methode ist also recht zeitaufwändig. Wissenschaftler der TU Darmstadt haben ein Verfahren entwickelt, das berührungslos mit einer ähnlich hohen Genauigkeit misst wie die etablierten Sensoren und auf einen kommerziell erhältlichen Laserscanner setzt.

Der Scanner tastet das Längsprofil einer typischen Brücke von unten entlang der beiden Hauptträger mit einem modulierten Laserstrahl ab.



Laserscanner helfen bei der Vermessung.

Querprofile sind auch messbar. Bezogen auf einen Vollkreis erreicht der Scannerspiegel maximal 200 Hz bei einer Million Messpunkten pro Sekunde. Die Messung erfolgt also relativ rasch – und vor allem nicht nur punktuell wie mit den etablierten Sensoren. Der Abstand zwischen Scanner und Brücke darf maximal 120 Meter betragen. Auch Tests im Dauerregen haben aussagekräftige Ergebnisse geliefert. Die Messunsicherheit ist mit 0,1 bis 0,2 Millimetern etwas größer als bei den etablierten Sensoren, reicht für viele praktische Fragestellungen aber dennoch aus.

Nun wollen die Forscher das Verfahren weiter optimieren und suchen Partner aus Forschung und Wirtschaft, um Erfahrungen im praktischen Messbetrieb zu sammeln.

Analyse von Dokumenten

Mittels dielektrischer Spektroskopie lässt sich der Lignin-Anteil in Papier bestimmen.

Erstaunlich oft interessiert die Zusammensetzung von Papier, genauer: der Anteil an verschiedenen Fasersorten. Papier für wichtige Regierungsdokumente wie Pässe hat einen gewissen Baumwollanteil. Das Alter historischer Dokumente oder von Kunstwerken lässt sich anhand der Papierbestandteile eingrenzen. Auch beim Zoll oder in der Spurensicherung geht es häufig um die Analyse von Papierfasern. Seit Jahrzehnten hat sich für solche Untersuchungen ein Verfahren etabliert, das leider viele Nachteile hat. So ist es nur im Labor durchführbar, erfordert aufwändige manuelle Bearbeitungsschritte und eine visuelle Inspektion unter dem Mikroskop. Zudem ist eine Materialprobe des Papiers nötig. Forscher des National Institute of Standards and Technology und des U.S. Government Publishing Office haben daher ein neues zerstörungsfreies Verfahren erprobt.³⁾

Sie nutzen die dielektrische Spektroskopie, um den Lignin-Anteil in Papier zu bestimmen. Dazu befindet sich das zu untersuchende Material in einem elektrischen Wechselfeld. Selbst in trockenem Papier sind die Wassermoleküle über Wasserstoffbrücken an die Makromoleküle der Fasern gebunden. Wie gut die Dipole der Wassermoleküle dem elektrischen Wechselfeld folgen, hängt von ihrer chemischen Umgebung ab: Lignin hindert die Wasserstoffmoleküle daran, sich dem Wechselfeld rasch anzupassen. Anhand des Messsignals lässt sich also auf die Fasersorten schließen.

Als nächstes wollen die Forscher untersuchen, wie störanfällig und zuverlässig das Verfahren bei verschiedenen Papiersorten arbeitet. Es sind weitere Anwendungen denkbar, etwa Nahrungsmittel oder Flächen auf Bakterien zu untersuchen.

Michael Vogel

1) X. A. Zhang et al., *Science* **363**, 619 (2019)

2) M. Gmelch et al., *Sci. Adv.* **5** (2019), doi: 10.1126/sciadv.aau7310

3) M. Kombolias et al., *TAPPI J.* **17**, 501 (2018)