

Pressemitteilung

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

Claudia Eulitz

03.11.2020

<http://idw-online.de/de/news757007>

Forschungsergebnisse, Wissenschaftliche Publikationen
Werkstoffwissenschaften
überregional



Nanobeschichtungen mit vielen Funktionen

Kieler Materialwissenschaftler erstellen erstmals ultradünne Nanokunststoffe mit unterschiedlichen Eigenschaften

Materialien, die gleichzeitig unterschiedliche Eigenschaften haben – zum Beispiel sind sie auf der einen Seite weich und auf der anderen hart, der Übergang ist fließend – könnten ganz neue Anwendungen ermöglichen, wie graduell entspiegelte Linsen. In der Natur kommen solche ineinander übergehenden Eigenschaften tatsächlich häufig vor, etwa bei Muscheln oder im menschlichen Auge. Materialwissenschaftler der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (CAU) wollen dieses Prinzip für die Entwicklung neuer Werkstoffe im Nanomaßstab nutzen. Ihnen ist es jetzt gelungen, ultradünne Kunststoffschichten mit solchen graduell unterschiedlichen Eigenschaften herzustellen. Als multifunktionale Beschichtungen könnten sie komplexe optische und elektronische Anwendungen im Miniformat erlauben, zum Beispiel für die Mikroelektronik. Ihre Ergebnisse erschienen kürzlich in der Printausgabe der Fachzeitschrift *Materials Today*.

Von der Natur inspirierte Materialeigenschaften

Muscheln können an Steinen oder Stegen so fest anhaften, dass sie von der Meeresströmung nicht abgelöst werden. Damit das weiche Gewebe im Inneren der Muschelschale an der harten Oberfläche eines Steins stabil andocken kann, bilden zum Beispiel Miesmuscheln elastische Haftfäden aus, die zu ihrem Ende hin kontinuierlich härter werden. Das liegt an der Mischung von Proteinen, die sich innerhalb der Faser von einem Ende zum anderen gleichmäßig ändert.

Nach diesem Prinzip aus der Natur entwickeln Kieler Materialwissenschaftler einzigartige dünne Werkstoffe mit Eigenschaften, die ebenfalls fließend ineinander übergehen, sogenannte Gradientenschichten. „Dafür kombinieren wir auf der Nanoebene zwei Materialien mit unterschiedlichen Eigenschaften“, erklärt Erstautor Stefan Schröder, der zurzeit am Lehrstuhl für Materialverbunde promoviert. In der kürzlich erschienenen Studie präsentierten er und seine Kollegen erstmals ultradünne Gradientenschichten aus zwei Kunststoffen. Sie kombinierten Polytetrafluorethylen (PTFE, besser bekannt unter dem Handelsnamen „Teflon“) mit einem als PV3D3 bezeichneten Kunststoff. Mit dem entstandenen Materialmix könnten zum Beispiel Flugzeuge, Kühlgeräte oder Glasfronten beschichtet werden, um sie leichter zu enteisen.

Hierfür machten sich Schröder und seine Kollegen die unterschiedlichen Eigenschaften der beiden Kunststoffe zu Nutze: Teflon ist nicht nur für seine Antihafteigenschaft bekannt, seine Oberfläche ist zusätzlich auch hydrophob. Wassertropfen rollen also im Idealfall sofort ab oder frieren nur wenig an, wodurch sich Eis leichter entfernen lässt. Doch dadurch lässt sich Teflon selbst nur schwer auf anderen Oberflächen anbringen. PV3D3 hingegen zeichnet sich durch gute Hafteigenschaften aus. Indem das Forschungsteam beide Stoffe auf Nanoebene graduell kombinierte, ließen sie sich in einem fließenden Übergang miteinander verbinden. So hält die Verbindung zum einen besonders gut, zum anderen bleiben die verschiedenen Eigenschaften bestehen. Das Ergebnis ist ein Beschichtungsmaterial mit einer wasserabweisenden Oberseite und einer gut haftenden Unterseite.

Dünne Kunststoffbeschichtungen – gar nicht so einfach herzustellen

Doch Beschichtungen aus Kunststoff herzustellen, ist gar nicht so einfach. Während es für die Beschichtung mit Metallen oder keramischen Materialien bereits etablierte Verfahren gibt, die auch in großem Maßstab industriell eingesetzt werden, lassen sich Kunststoffe beispielsweise nicht einfach aufdampfen, ohne sich dabei zu zersetzen. Deshalb entwickelte US-Wissenschaftlerin Karen K. Gleason Mitte der 1990er Jahre am Massachusetts Institute of Technology MIT das sogenannte iCVD-Beschichtungsverfahren (initiierte chemische Gasphasenabscheidung, Initiated chemical vapor deposition). Bei einem Forschungsaufenthalt am MIT lernte auch Schröder die Technik näher kennen. „Hierbei wird ein Gas zusammen mit einem Initiator-Gas in eine Reaktionskammer geleitet, in der sich eine Substratoberfläche befindet. Durch Wärme brechen die chemischen Bindungen des Initiators auf und eine Kettenreaktion beginnt“, erklärt Doktorvater Professor Franz Faupel, Inhaber des Lehrstuhls Materialverbunde und Mitglied im nanowissenschaftlichen Forschungsschwerpunkt KiNSIS (Kiel Nano, Surface and Interface Science) der CAU. Auf diese Weise „wächst“ auf der Substratoberfläche ein dünner Polymerfilm aus den eingeführten Gasen.

Die Kieler Materialwissenschaftler gingen noch einen Schritt weiter. Sie nutzten das iCVD-Verfahren nicht nur, um eine dünne Kunststoffschicht zu erstellen, sondern auch, um dabei gleichzeitig ihre zwei Kunststoffe miteinander zu vermischen. Nach dem Einleiten des gasförmigen Ausgangsstoffes von PV_3D_3 fügten sie nach kurzer Zeit noch das Ausgangsgas für die Teflonabscheidung hinzu. Kontinuierlich veränderten sie die jeweiligen Konzentrationen, wodurch sich auf dem Substrat eine Schicht mit einem fließenden Übergang zwischen beiden Kunststoffen bildete.

Eine neue Klasse von Nanokunststoffen

Während dieses Verfahrens laufen zahlreiche Prozesse parallel ab. „Ändert man einzelne Parameter wie die Substrattemperatur oder den Gasdruck, hat das Endmaterial andere Eigenschaften. Die jeweiligen Parameter für die gewünschten Eigenschaften zu finden, ist allerdings sehr aufwendig“, erklärt Schröder. Also erweiterte er die herkömmliche iCVD-Anlage ihres Lehrstuhls um ein Massenspektrometer. Damit lassen sich die Prozesse in der Reaktionskammer in-situ, also live, beobachten und die Zusammensetzung der Gasmischung direkt anpassen.

Durch diese hochpräzise Regulierung gelang es dem Forschungsteam, eine nur 21 Nanometer dünne polymere Gradientenschicht herzustellen. Zum Vergleich: Das menschliche Haar hat einen Durchmesser von etwa 50.000 Nanometern. Bisher waren nur makroskopische, also deutlich dickere, Gradientenwerkstoffe realisiert worden. „Das ist praktisch Weltrekord und damit quasi eine neue Klasse von Nanomaterialien aus Kunststoff“, sagt Dr. Thomas Strunskus, Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl. „Gerade für Anwendungen in der Optik ist das wichtig, denn um die optischen Eigenschaften von Fenstern oder Linsen nicht zu beeinträchtigen, dürfen Beschichtungen nur wenige Nanometer dünn sein.“ Erste Projekte mit Industriepartnern aus der Beschichtungs- und Klimatechnik sind bereits in Vorbereitung.

Mögliche Anwendungen reichen von Mikroelektronik und Sensoren über Optik bis zu Biomedizin

Mit dem vorgestellten Verfahren lassen sich auch andere Kunststoffkombinationen mit neuen chemischen und physikalischen Materialeigenschaften realisieren, so die Forschenden. Hauchdünne Polymerschichten sind zum Beispiel auch für flexible mikroelektronische Bauteile und Sensoren in der MEMS-Technologie (mikro-elektromechanische Systeme) interessant oder für molekulare Maschinen, die mechanische Prozesse in den Nanomaßstab übertragen.

Die jetzt veröffentlichten Ergebnisse fließen auch in die Arbeit von mehreren Forschungsverbünden unter dem Dach von KiNSIS ein. „Das sind grundlegende Werkzeuge für die Materialwissenschaft. Sie können sowohl dazu beitragen, die Haftung von funktionellen Schichten in Sensoren zu verbessern als auch Materialien zur gesteuerten Freisetzung von Medikamenten zu entwickeln“, so Faupel. Der Materialwissenschaftler forscht im Sonderforschungsbereich 1261 „Biomagnetische Sensorik“ an neuartigen hochempfindlicher Sensoren und ist im Graduiertenkolleg 2154 „Materials for Brain“ an der Entwicklung von Materialien zur Behandlung von schwerwiegenden Gehirnerkrankungen beteiligt.

Über das iCVD-Verfahren (initiierte chemische Gasphasenabscheidung, Initiated chemical vapor deposition)
Im Gegensatz zu anderen Beschichtungsmethoden wie Aufdampfen oder Sputtern findet beim iCVD-Verfahren mit der radikalischen Polymerisation eine spezielle chemische Reaktion statt, wie man sie etwa auch aus dem Chemielabor kennt. Die Ausgangsmoleküle (Monomere) setzen sich hierbei neu zusammen zu Polymerketten. Dies führt auf der Nanoebene zu qualitativ besonders hochwertigen Materialschichten. Auf diese Weise ist es auch möglich, komplexe Geometrien, zum Beispiel poröse Oberflächen, passgenau zu beschichten. Konkret wird beim iCVD-Verfahren ein sogenanntes Monomer-Gas zusammen mit einem anderen Gas als Initiator in eine Reaktionskammer unter Vakuumbedingungen geleitet. Durch Kontakt mit heißen Drähten, die etwa 20-30 mm über dem Substrat angeordnet sind, brechen die chemischen Bindungen des Initiators auf und bilden dabei sehr reaktive Teilchen, sogenannte freie Radikale. Auf der Substratoberfläche beginnt eine Kettenreaktion der freien Radikale mit den Monomermolekülen. So bildet sich ein stetig wachsender Materialfilm aus Polymerketten des Initiators und des Monomers.

Fotos stehen zum Download bereit:

<http://www.uni-kiel.de/de/pressemitteilungen/2020/262-Nanogradient-1.jpg>

Bildunterschrift: Im Rahmen seiner Doktorarbeit hat Materialwissenschaftler Stefan Schröder eine Methode entwickelt, um nanodünne Gradientenschichten aus Kunststoff herzustellen, die unterschiedliche Eigenschaften vereinen.

© Julia Siekmann, CAU

<http://www.uni-kiel.de/de/pressemitteilungen/2020/262-Nanogradient-2.jpg>

Bildunterschrift: Das Vorbild stammt aus der Natur: Miesmuscheln bilden weiche Haftfäden, die zum Ende hin immer härter werden. So können sie an harten Untergründen wie Steinen fest anhaften.

© Stefan Schröder

<http://www.uni-kiel.de/de/pressemitteilungen/2020/262-Nanogradient-3.jpg>

Bildunterschrift: In einem aufwendigen Verfahren wurden zwei Kunststoffe auf der Nanoskala ineinanderfließend miteinander verbunden: Die Querschnittsaufnahme aus einem Rasterelektronenmikroskop zeigt den Übergang von PV3D3 (rot) zu PTFE (Teflon, blau).

© Stefan Schröder

<http://www.uni-kiel.de/de/pressemitteilungen/2020/262-Nanogradient-4.jpg>

Bildunterschrift: Die Gradientenschicht von Doktorand Stefan Schröder (v.l.), Arbeitsgruppenleiter Professor Franz Faupel und dem Wissenschaftlichen Mitarbeiter Dr. Thomas Strunskus könnte in der Optik, Mikroelektronik oder Biomedizin eingesetzt werden. Mit einem Röntgenphotoelektronenspektrometer analysierten sie die Zusammensetzung des ultradünnen Materials.

© Julia Siekmann, CAU

Über den Forschungsschwerpunkt KiNSIS

Auf der Nanoebene herrschen andere, quantenphysikalische, Gesetze als in der makroskopischen Welt. Strukturen und Prozesse in diesen Dimensionen zu verstehen und die Erkenntnisse anwendungsnah umzusetzen, ist das Ziel des Forschungsschwerpunkts »Nanowissenschaften und Oberflächenforschung« (Kiel Nano, Surface and Interface Science – KiNSIS) der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel (CAU). In einer intensiven interdisziplinären Zusammenarbeit zwischen Physik, Chemie, Ingenieurwissenschaften und Life Sciences könnten daraus neuartige Sensoren und Materialien, Quantencomputer, fortschrittliche medizinische Therapien und vieles mehr entstehen.

wissenschaftliche Ansprechpartner:

Prof. Dr. rer. nat. Franz Faupel
Institut für Materialwissenschaft
Lehrstuhl für Materialverbunde
Telefon: +49 431 880-6225

E-Mail: ff@tf.uni-kiel.de

Web: <http://www.tf.uni-kiel.de/matwis/matv>

Originalpublikation:

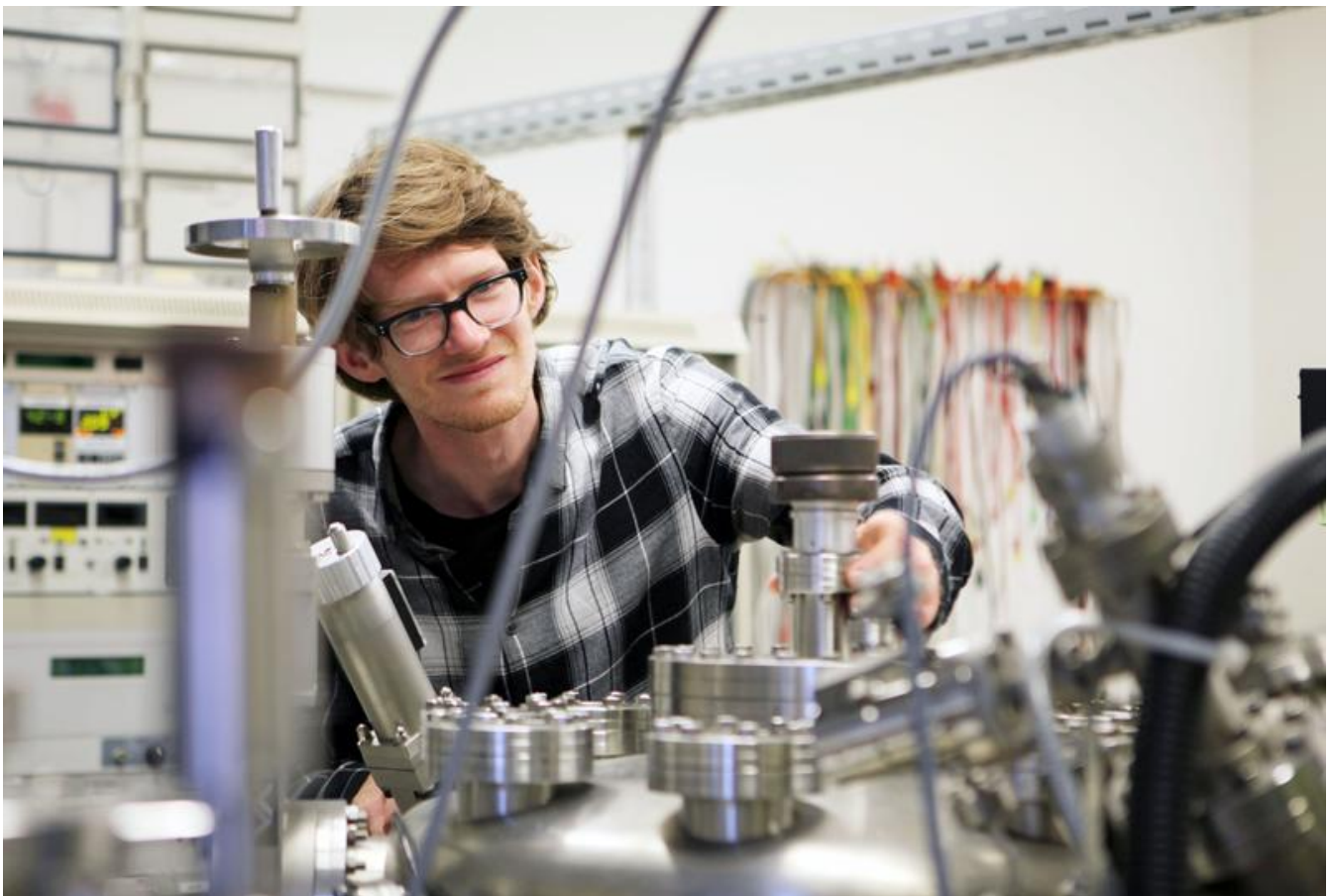
Nanoscale gradient copolymer films via single-step deposition from the vapor phase, Stefan Schröder, Oleksandr Polonskyi, Thomas Strunskus, Franz Faupel, Materials Today, Volume 37, July–August 2020, <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2020.02.004>

URL zur Pressemitteilung: <https://www.uni-kiel.de/de/detailansicht/news/262-nanogradient>

URL zur Pressemitteilung: <https://www.kinsis.uni-kiel.de> Forschungsschwerpunkts KiNSIS (Kiel Nano, Surface and Interface Science) der Universität Kiel

URL zur Pressemitteilung: <http://www.sfb1261.de/index.php/en/> Sonderforschungsbereich 1261 „Biomagnetische Sensorik“

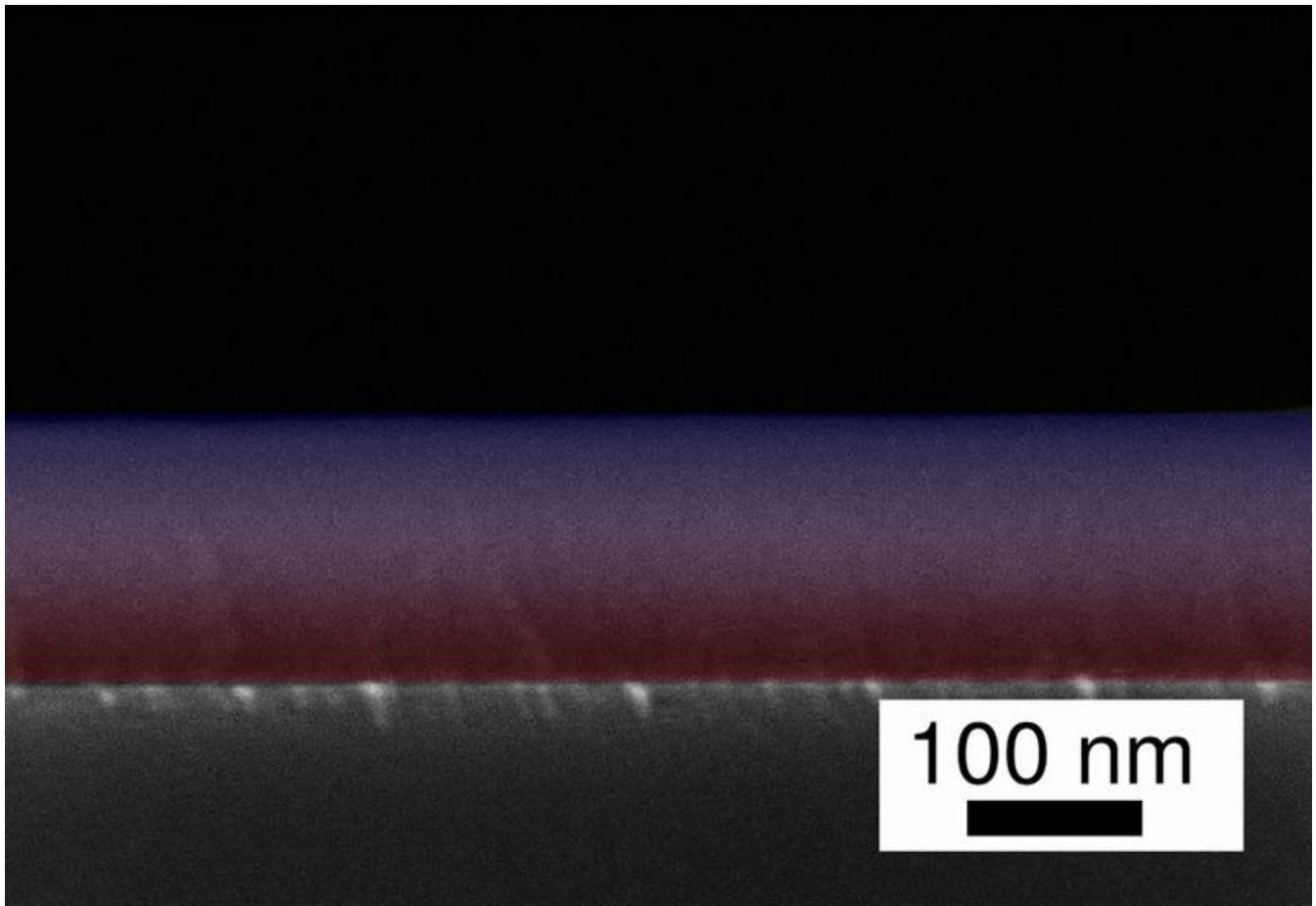
URL zur Pressemitteilung: <https://www.grk2154.uni-kiel.de/en> Graduiertenkolleg 2154 „Materials for Brain“



Im Rahmen seiner Doktorarbeit hat Materialwissenschaftler Stefan Schröder eine Methode entwickelt, um nanodünne Gradientenschichten aus Kunststoff herzustellen, die unterschiedliche Eigenschaften vereinen.

Julia Siekmann, CAU

Julia Siekmann, CAU



In einem aufwendigen Verfahren wurden zwei Kunststoffe auf der Nanoskala ineinanderfließend miteinander verbunden: Die Querschnittsaufnahme aus einem Rasterelektronenmikroskop zeigt den Übergang von PV₃D₃ (rot) zu PTFE (Teflon, blau).

Stefan Schröder
Stefan Schröder