

Press release

Technische Universität Chemnitz

Matthias Fejes

08/23/2021

<http://idw-online.de/en/news774572>

Research results
Electrical engineering, Energy
transregional, national



Weltneuheit: Kleinster Biosuperkondensator liefert Energie für biomedizinische Anwendungen

Forschungsteam der TU Chemnitz, des IFW Dresden und des IPF Dresden präsentieren biokompatible Energiespeicher für den Sensorik-Einsatz in Blutbahnen

Die Miniaturisierung von mikroelektronischer Sensorik, mikroelektronischen Robotern (<https://www.tu-chemnitz.de/tu/pressestelle/aktuell/10044>) oder intravaskulären Implantaten schreitet schnell voran. Sie stellt die Forschung aber auch vor große Herausforderungen. Eine der größten ist die Entwicklung winziger aber effizienter Energiespeicher, die den Betrieb autonom arbeitender Mikrosysteme ermöglichen – zum Beispiel in immer kleineren Bereichen des menschlichen Körpers. Darüber hinaus müssen diese Energiespeicher bio-kompatibel sein, um überhaupt im Körper eingesetzt werden zu können. Nun gibt es einen ersten Prototyp, der diese wesentlichen Eigenschaften vereint. Der Durchbruch gelang einem internationalen Forschungsteam unter Leitung von Prof. Dr. Oliver G. Schmidt, Inhaber der Professur Materialsysteme der Nanoelektronik (<https://www.tu-chemnitz.de/etit/nano/>) an der Technischen Universität Chemnitz, Initiator des Zentrums für Materialien, Architekturen und Integration von Nanomembranen (MAIN: <https://www.tu-chemnitz.de/tu/pressestelle/aktuell/8947>) an der TU Chemnitz und Direktor am Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung (IFW) Dresden. Auch das Leibniz-Institut für Polymerforschung Dresden (IPF) war als Kooperationspartner an der Studie beteiligt.

In der aktuellen Ausgabe von „Nature Communications“ berichten die Forscherinnen und Forscher vom bisher kleinsten sogenannten „Biosuperkondensator“, der bereits in (künstlichen) Blutbahnen funktioniert und als Energiequelle für ein winziges Sensorsystem zur Messung des pH-Wertes verwendet werden kann.

Dieses Speichersystem eröffnet Möglichkeiten für intravaskuläre Implantate und mikrorobotische Systeme (<https://www.tu-chemnitz.de/tu/pressestelle/aktuell/10044>) für die Biomedizin der nächsten Generation, die in schwer zugänglichen kleinen Räumen tief im Inneren des menschlichen Körpers agieren könnte. So kann zum Beispiel die Erfassung des pH-Wertes im Blut in Echtzeit bei der Vorhersage der frühen Tumorbildung helfen. „Es ist äußerst ermutigend zu sehen, wie eine neue, extrem flexible und adaptive Mikroelektronik in die miniaturisierte Welt der biologischen Systeme vordringt“, zeigt sich Forschungsgruppen-Leiter Prof. Dr. Oliver G. Schmidt von diesem Forschungserfolg äußerst angetan.

Die Herstellung der Proben und die Untersuchung des Biosuperkondensators erfolgten größtenteils im Zentrum für Materialien, Architekturen und Integration von Nanomembranen (MAIN) an der TU Chemnitz.

„Die Architektur unserer Nano-Bio-Superkondensatoren bietet die erste potenzielle Lösung für eine der größten Herausforderungen – winzige integrierte Energiespeicher, die den autarken Betrieb multifunktionaler Mikrosysteme ermöglichen“, sagt Dr. Vineeth Kumar, Forscher im Team von Prof. Schmidt und Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Forschungszentrum MAIN.

Kleiner als ein Staubkorn – Spannungen vergleichbar einer AAA-Batterie

Immer kleinere Energiespeicher im Submillimeterbereich – sogenannte „Mikro-Superkondensatoren“ – für immer kleinere mikroelektronische Bauteile stellen aber nicht nur eine große technische Herausforderung dar. Denn in der Regel benutzen diese Superkondensatoren keine biokompatiblen Materialien, sondern zum Beispiel korrosive Elektrolyten und entladen sich bei Defekten und Verunreinigungen schnell von selbst. Beide Aspekte machen sie für biomedizinische Anwendungen im Körper ungeeignet. Eine Lösung bieten sogenannte „Biosuperkondensatoren (BSCs)“. Sie besitzen zwei herausragende Eigenschaften: Sie sind vollständig biokompatibel, das heißt, dass sie in Körperflüssigkeiten wie Blut eingesetzt und für weitere medizinische Studien genutzt werden können.

Zudem können Biosuperkondensatoren das Selbstentladungsverhalten durch bioelektrochemische Reaktionen kompensieren. Dabei profitieren sie sogar noch von körpereigenen Reaktionen. Denn zusätzlich zu typischen Ladungsspeicherreaktionen eines Superkondensators steigern Redox-Enzyme und lebende Zellen, die natürlicherweise im Blut vorhanden sind, die Leistung des Bauteils um 40%.

Die derzeit kleinsten derartigen Energiespeicher sind größer als 3 mm³. Dem Team um Prof. Oliver Schmidt ist es nun gelungen, einen 3.000 Mal kleineren röhrenförmigen Biosuperkondensator herzustellen, der mit einem Volumen von 0.001 mm³ (1 Nanoliter) weniger Raum als ein Staubkorn einnimmt und dennoch bis zu 1,6 V Versorgungsspannung für zum Beispiel mikroelektronische Sensorik im Blut liefert. Das entspricht in etwa der Spannung einer handelsüblichen AAA Batterie, wobei der eigentliche Stromfluss auf diesen kleinsten Skalen natürlich bedeutend geringer ist. Die flexible röhrenförmige Geometrie des Nano-Biosuperkondensators bietet effizienten Selbstschutz gegen Deformationen, die durch pulsierendes Blut oder Muskelkontraktion entstehen. Bei voller Kapazität kann der vorgestellte Nano-Biosuperkondensator ein komplexes vollintegriertes Sensorsystem (<https://www.tu-chemnitz.de/tu/pressestelle/aktuell/10572>) zur Messung des pH-Wertes im Blut betreiben.

Dank Origami-Technologie: Flexibel, robust, winzig

Bei der Origami-Technologie (<https://www.tu-chemnitz.de/tu/pressestelle/aktuell/9574>) setzt man die benötigten Materialien für die nBSC-Bauelemente auf einer Waferoberfläche unter hoher mechanischer Verspannung. Werden die Materialschichten anschließend kontrolliert von der Oberfläche abgelöst, wird die Verspannungsenergie freigesetzt und die Schichten wickeln sich von selbst mit hoher Genauigkeit und Ausbeute (95%) zu kompakten 3D-Bauteilen auf. Die so hergestellten Nano-Biosuperkondensatoren wurden in drei Lösungen, sogenannten Elektrolyten, getestet: Kochsalzlösung, Blutplasma und Blut. In allen drei Elektrolyten war die Energiespeicherung ausreichend erfolgreich, wenn auch mit unterschiedlicher Effizienz. Im Blut zeigte der Nano-Biosuperkondensator eine exzellente Lebensdauer und hielt bis zu 70% der anfänglichen Kapazität auch noch nach 16 Stunden bereit. Um die schnelle Selbstentladung zu unterdrücken, wurde ein Protonenaustauschseparator (PES) eingesetzt.

Leistungsstabilität auch unter realistischen Bedingungen

Um die natürlichen Körperfunktionen in unterschiedlichen Situationen aufrechtzuerhalten, stehen die Strömungseigenschaften des Blutes und der Druck in den Gefäßen unter ständiger Veränderung. Der Blutfluss pulsiert und variiert je nach Gefäßdurchmesser und Blutdruck. Jedes implantierbare System innerhalb des Kreislaufsystems muss diesen physiologischen Bedingungen bei stabiler Leistung standhalten.

Das Team untersuchte daher die Leistungsfähigkeit ihrer Entwicklung – ähnlich wie in einem Windkanal – in sogenannten mikrofluidischen Kanälen mit Durchmessern von 120 bis 150 µm (0,12 bis 0,15 mm), um Blutadern verschiedener Größe nachzuahmen. In diesen Kanälen simulierten und testeten die Forscherinnen und Forscher das Verhalten ihrer Energiespeicher unter verschiedenen Fließ- und Druckbedingungen. Sie stellten fest, dass die Nano-Biosuperkondensatoren ihre Leistung unter physiologisch relevanten Bedingungen gut und stabil bereitstellen können.

Selbstständige Sensorik kann zum Beispiel die Tumor-Diagnostik unterstützen

Das Wasserstoffpotential (pH) des Blutes ist Schwankungen unterworfen. Eine kontinuierliche Messung des pH-Wertes kann so zum Beispiel bei der Früherkennung von Tumoren helfen. Für diesen Zweck entwickelten die Forscherinnen und Forscher einen pH-Sensor, der durch den Nano-Biosuperkondensator mit Energie versorgt wird.

Die bereits im Forschungsteam von Prof. Oliver Schmidt zuvor etablierte 5 µm thin film transistor (TFT)-Technologie konnte genutzt werden, um einen Ringoszillator mit außergewöhnlicher mechanischer Flexibilität zu entwickeln, der bei niedriger Leistung (nW bis µW) und hohen Frequenzen (bis bis 100MHz) arbeitet.

Für das aktuelle Projekt verwendete das Team einen fünfstufigen Ringoszillator. Das Team integrierte in den Ringoszillator einen pH-sensitiven BSC, so dass es zu einer Änderung der Ausgangsfrequenz in Abhängigkeit vom pH-Wert des Elektrolyten kommt. Dieser pH-sensitive Ringoszillator wurde ebenfalls mit der Swiss-Roll-Origami Technik in eine röhrenförmige 3D-Geometrie gebracht, sodass ein vollintegriertes und ultra-kompaktes System aus Energiespeicher und Sensor geschaffen werden konnte.

Der hohle Innenkern dieses winzigen Sensorsystems dient als Kanal für das Blutplasma. Darüber hinaus ermöglichen drei mit dem Sensor in Reihe geschaltete nBSCs eine besonders effiziente und autarke pH-Messung.

Mit diesen Eigenschaften ergeben sich breite Anwendungsmöglichkeiten, zum Beispiel in der Diagnostik und Medikation.

Zur Person: Teamleiter Prof. Dr. Oliver G. Schmidt

Oliver G. Schmidt wurde 2007 als Professor für Materialsysteme der Nanoelektronik an die TU Chemnitz berufen und ist gleichzeitig Direktor des Instituts für Integrative Nanowissenschaften am Leibniz-Institut für Festkörper- und Werkstoffforschung (IFW) Dresden. Schmidt ist ein Pionier auf dem Gebiet der Mikrorobotik und Mikromotoren. Er und sein Forschungsteam bewegen sich mit ihren Arbeiten im Bereich der Nanowissenschaften zwischen den Fachgebieten Physik, Chemie, Materialwissenschaften, Elektronik und Mikrosystemtechnik. Das Anwendungspotential seiner wissenschaftlichen Erkenntnisse hat Schmidt in der Mikrorobotik, Photonik, Sensorik, Medizin und in der Energiespeicherung in zahlreichen Forschungsarbeiten aufgezeigt. 2010 baute er mit seinen damaligen Kollegen den kleinsten von Menschenhand gefertigten Düsenantrieb und 2020 den kleinsten mikroelektronischen Roboter. Für seine herausragenden Arbeiten zur Erforschung, Herstellung und innovativen Anwendung funktioneller Nanostrukturen wurde er 2018 mit dem Gottfried Wilhelm Leibniz-Preis (<https://www.tu-chemnitz.de/tu/pressestelle/aktuell/8671>) – dem wichtigsten Forschungsförderpreis in Deutschland – geehrt. Schmidt ist Mitglied der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften (acatech) und gehört zu den höchstzitierten Wissenschaftlern weltweit.

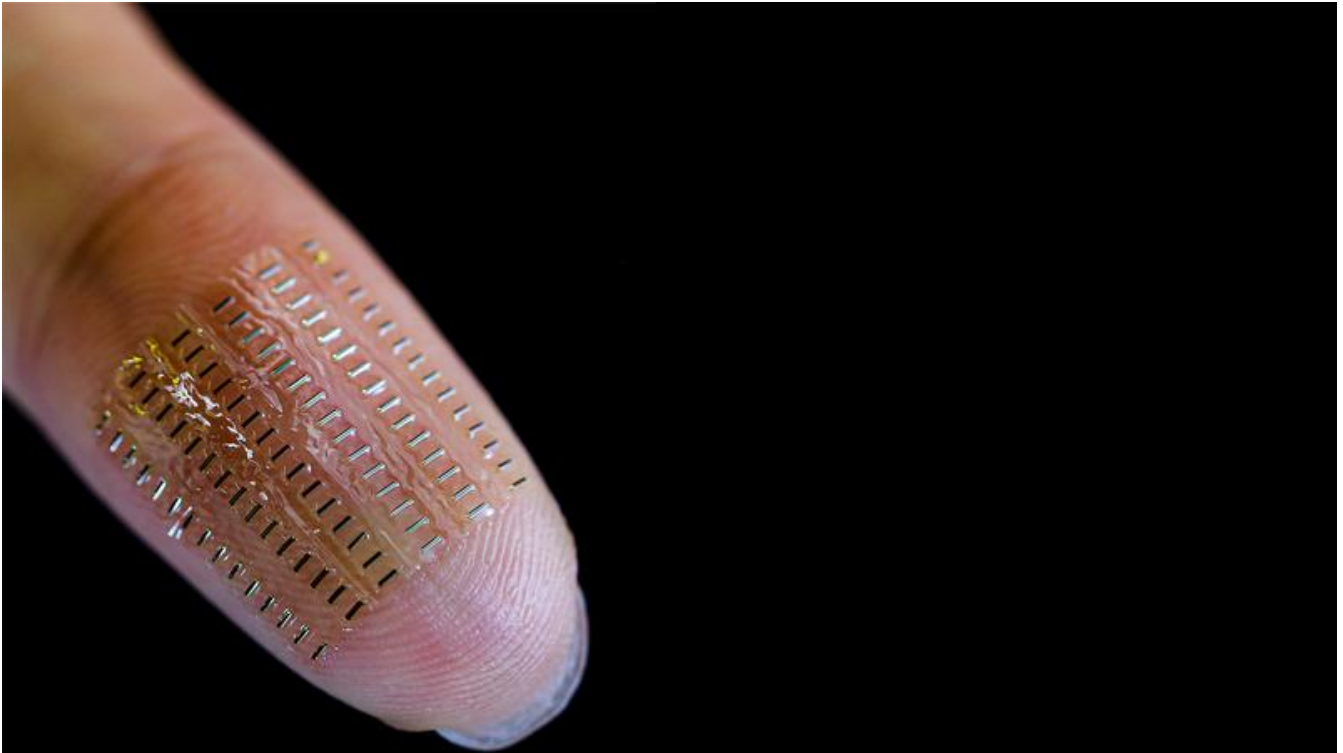
contact for scientific information:

Prof. Dr. Oliver G. Schmidt, Professur Materialsysteme der Nanoelektronik an der TU Chemnitz und Leibniz-Institut für Festkörper und Werkstoffforschung Dresden e.V., Telefon +49 (0) 351 4659-810, E-Mail o.schmidt@ifw-dresden.de.

Original publication:

Lee, Y., Bandari, Li, Z., Vineeth Kumar Bandari, Oliver G. Schmidt et al. Nano-biosupercapacitors enable autarkic sensor operation in blood. Nat Commun 12, 4967 (2021). DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-021-24863-6>

URL for press release: <https://www.nature.com/articles/s41467-021-24863-6>



Eine Anordnung von 90 flexiblen und implantierbaren sogenannten Nano-Biosupercapacitors (nBFCs). Diese ermöglichen den autarken Betrieb von Mikrosensorik für den Einsatz unter anderem im Blut.

AG Prof. Dr. Oliver G. Schmidt
TU Chemnitz/IFW Dresden



Prof. Dr. Oliver G. Schmidt ist Pionier auf dem Gebiet der Mikrorobotik und Mikromotoren.
Jacob Müller
TU Chemnitz