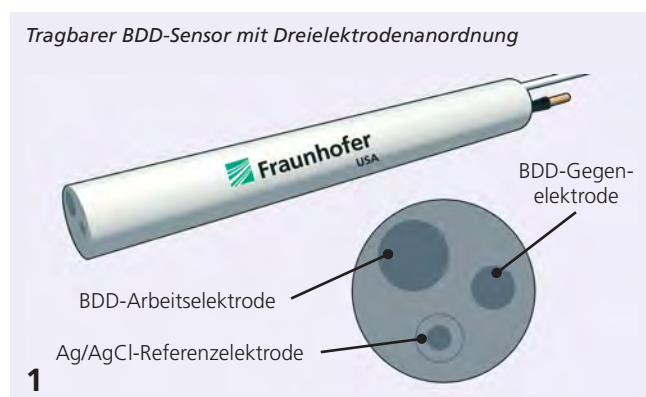


MOBILER BOR-DOTIERTER DIAMANTSENSOR FÜR DIE ANALYSE GIFTIGER SCHWERMETALLE

DIE AUFGABE

Bor-dotierter Diamant (BDD) hat das größte elektrochemische Potenzialfenster aller Elektrodenmaterialien und erlangte dadurch den Status eines exzellenten Sensor- und Elektrodenmaterials. Von Wasseraufbereitungsverfahren über chemische Synthesen zu elektrochemischen Analysen hat BDD ein breites Anwendungsfeld gefunden. Zudem macht die extreme mechanische und chemische Stabilität, der niedrige Hintergrundstrom und die niedrige Doppelschichtkapazität des BDD das Material besonders nützlich für die Spurendetektion von giftigen Schwermetallen in Wasser.

Die Zunahme von giftigen Schwermetallen im Trinkwasser ist ein ansteigendes Problem. Die ständige Belastung mit Schwermetallen wie Blei, Kadmium und Quecksilber ist krebserregend und führt zu körperlichen Schäden wie zum Beispiel Nierenversagen, schwere Nervenvergiftungen und IQ-Verlust. Durch die schnellere physiologische Aufnahme dieser Gifte sind die Effekte besonders bei Kindern verstärkt zu beobachten. Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) in Europa berichtet, dass der IQ-Verlust von Kindern schon bei Bleiwerten im Blut von weniger als $10 \mu\text{g dl}^{-1}$ oder 1 ppm beginnt.



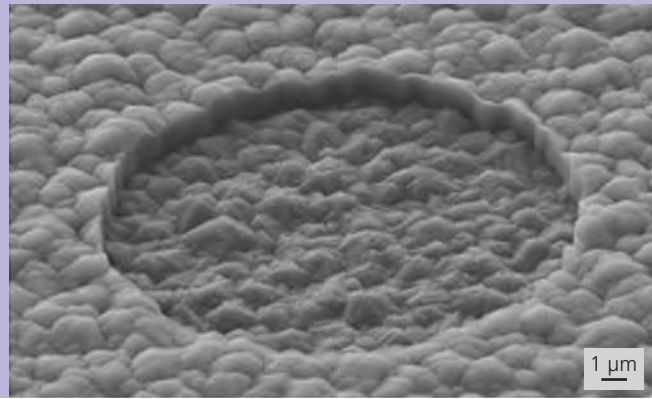
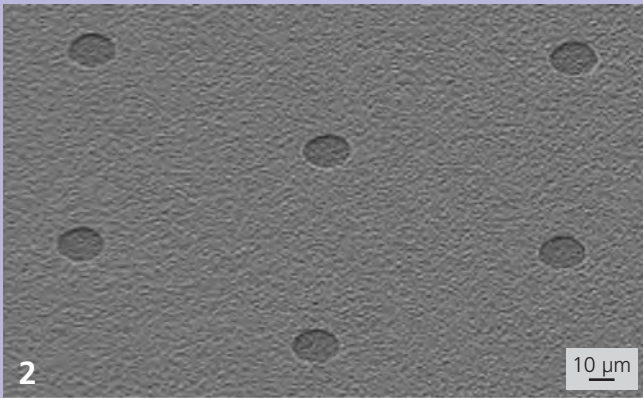
Die Detektion dieser metallischen Gifte vor der körperlichen Aufnahme ist notwendig, damit potenziell lebenslanges Leiden vermieden werden kann. Daher ist die Entwicklung eines einfachen und bedienungsfreundlichen Sensors von großer Bedeutung.

UNSERE LÖSUNG

Forscher des Fraunhofer Center for Coatings and Diamond Technologies CCD in Michigan, USA entwickeln einen tragbaren und universal einsetzbaren elektrochemischen Sensor basierend auf Bor-dotierter Diamanttechnologie. Mit dem Sensor kann man zuverlässig niedrigste Schwermetallkonzentrationen im Trinkwasser zum Beispiel in der kommunalen Wasseraufbereitungsanlage oder zu Hause einfach messen. Der Sensor (Abb. 1) besteht aus einer BDD-Arbeits Elektrode, einer Ag/AgCl-Referenzelektrode und einer BDD-Gegenelektrode.

Die Entwicklung einer geeigneten BDD-Arbeits Elektrode beinhaltet die Untersuchung von Mikroelektrodenarrays (MEA) und Makroelektroden. Verschiedene Geometrien (Durchmesser und Mittelpunkt-zu-Mittelpunkt-Abstände) der MEA wurden zur Optimierung der Sensitivität und der Nachweisgrenze näher untersucht. Abbildung 2 zeigt Bilder einer einzelnen Mikroelektrode und die hexagonale Anordnung der BDD-MEA.

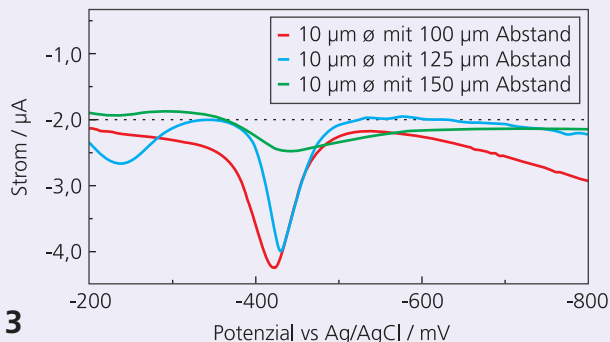
Für den Aufbau eines kompletten Messsystems entwickeln CCD-Forscher ein kosteneffektives miniaturisiertes Potentiostat, welches für verschiedenste elektrochemische Messverfahren die benötigten Spannungsverläufe und resultierenden Ströme regeln und messen kann. Möglich ist auch Square-Wave-Stripping-Voltammetrie (SWSV), ein sensitives Messverfahren, bei dem der gemessene Strom proportional zur Konzentration des Analyten in der Lösung ist.



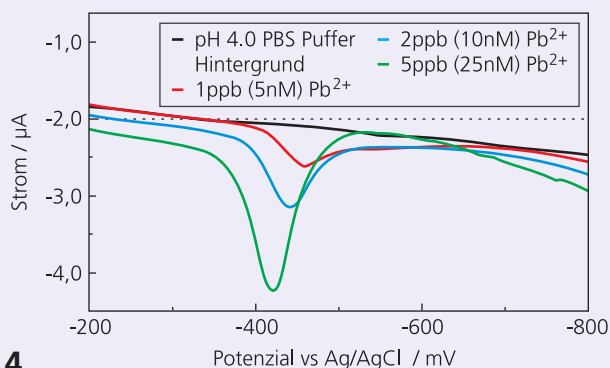
ERGEBNISSE

SWSV erlaubt die Detektion von Spurenelementen an Schwermetallionen durch die Eliminierung der kapazitiven Hintergrundströme. Dadurch besteht der gemessene Strom nur aus Faraday'schem Strom bzw. Strom, verursacht von dem Analyten. In Abbildung 3 sind SWS-Voltammogramme von Blei aufgeführt, welche mit unterschiedlichen MEA-Geometrien gemessen wurden. Jede Elektrode zeigt eine klar quantifizierbare Reaktion bei einer Spurenkonzentration von nur 5 ppb (25 nM) Blei in der Lösung. Eine Geometrie von 10 μm Einzelelektroden Durchmesser und einem Mittelpunkt-zu-Mittelpunkt-Abstand von 100 μm erwies sich als beste Option.

Square-Wave-Stripping-Voltammogramme einer Bleikonzentration von 5 ppb (25 nM) in PBS-Lösung (pH 4.0), aufgenommen mit BDD-MEA-Elektroden unterschiedlicher Geometrien.



Square-Wave-Stripping-Voltammogramme von verschiedenen Pb^{2+} Konzentrationen an einer BDD-MEA mit 10 μm Durchmesser und 100 μm Abstand in PBS-Lösung.



Weitere Untersuchungen mit der 10 μm x 100 μm BDD-MEA sind in Abbildung 4 gezeigt. Hier wurde eine Serie von unterschiedlichen Bleikonzentrationen von 1 - 5 ppb (5 - 25 nM) analysiert. Diese Konzentrationen wurden gewählt, um zu untersuchen, ob der BDD-Sensor Konzentrationen unterhalb der Trinkwassergrenzwerte zuverlässig messen kann. Diese Werte sind für Blei zum Beispiel laut Umweltbundesamt (UAB) in Deutschland 10 ppb (50 nM) und laut der Environmental Protection Agency (EPA) in den USA 15 ppb (75 nM).

Wie in Abbildungen 3 und 4 gezeigt, können selbst für 1 ppb Blei eindeutig quantifizierbare Strommessungen erzielt werden. Eine lineare Korrelation zwischen der ansteigenden Bleikonzentration und des erhaltenen Stromauschlages zeigt, dass der Fraunhofer BDD-MEA-Sensor eine Nachweisgrenze von 0,2 ppb (1 nM) erreicht, welches 50 mal bzw. 75 mal niedriger ist als der erlaubte Trinkwassergrenzwert des deutschen UAB und der amerikanischen EPA.

Darüber hinaus entwickeln die Forscher des CCD auch optisch transparente BDD-Elektroden für spektralelektrochemische Messungen (z. B. zur Untersuchung von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen) sowie BDD-Arrays zur Ozongeneration und in Polymer verpackte flexible Diamantelektroden zur Analyse von Neurotransmittern.

2 Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen eines Bordotierten Mikroelektrodenarrays (BDD-MEA)

KONTAKT

Dr. Cory Rusinek

+1 517 884 8694

crusinek@fraunhofer.org

