



Ein Metalinsenmikroskop erreicht erstaunliche Werte bei Bildfeld, Bildqualität und Baugröße.

## Mikroskop mit Metalinse

Ein Metalinsen-Array ermöglicht kleine Systeme, die bei gleicher Bildqualität ein deutlich größeres Gesichtsfeld haben.

Optische Mikroskope sollten möglichst kompakt sein und ein großes Gesichtsfeld und eine große Tiefenschärfe haben. Die klassische Herangehensweise stößt hier an ihre Grenzen, vor allem durch die Dimensionen der lichtbrechenden Optik. Metalinsen gelten als mögliche Alternative, doch die Bildqualität der bisherigen Demonstratoren überzeugte nicht. Eine Forschungsgruppe der chinesischen Universität Nanjing hat nun ein Mikroskop vorgestellt, dessen Volumen und Gewicht um einen Faktor 1000 kleiner ist als bei einem konventionellen Gerät, bei gleicher Auflösung und größerem Gesichtsfeld.<sup>1)</sup>

Das Herzstück des Mikroskops besteht aus einem CMOS-Bildsensor, auf den übereinander ein zirkular polarisierender Filter und eine Metaoberfläche geklebt sind. Die Strukturen der Metaoberfläche sind so gestaltet, dass diese die Phase des einfallenden Lichts für zwei entgegengesetzt zirkular polarisierte Strahlen unabhängig voneinander manipuliert. Zudem sind die co- und kreuzpolarisierten Intensitäten etwa gleich groß. Dadurch sinkt im überlagerten Bild das Hintergrundrauschen deutlich.

Das zentrale Element des Labormusters besteht aus einem Metalinsen-Array, das den Bildsensor weitgehend bedeckt. Jede Linse hat 250  $\mu\text{m}$  Durchmesser und 360  $\mu\text{m}$  Brennweite. Das Gehäuse, in das auch LED und Probenhalter integriert sind, misst nur  $3 \times 3,5 \times 4 \text{ cm}^3$ . Das Mikroskop er-

reicht ein  $4 \times 4 \text{ mm}^2$  großes Gesichtsfeld mit einer Auflösung von 1,7  $\mu\text{m}$  und einer Schärfentiefe von 200  $\mu\text{m}$  in einem Wellenlängenbereich von 450 bis 510 nm. Das ist mehr, als ein traditionelles Mikroskop bei gleicher Auflösung erreicht – wobei die Auflösung derzeit durch die Pixelgröße des CMOS-Sensors begrenzt ist, nicht durch das Metalinsen-Array.

## Überwachte Verschmutzung

Ein autonom arbeitendes Reflektometer misst die Verschmutzung solarthermischer Kraftwerke.

Betreibern von solarthermischen Kraftwerken hilft ein präzises Verschmutzungsmonitoring bei der Planung der Reinigungszyklen. Schmutz auf den Kraftwerksspiegeln senkt ihren Reflexionsgrad, der im Betrieb über 95 Prozent liegen sollte. Andererseits sind Reinigungseinsätze kostenintensiv und in Wüstenregionen womöglich mit einem Wasserproblem verbunden. Daher ist es mit Blick auf die Wirtschaftlichkeit bereits bei



Der Sensor misst die Verschmutzung in einem Parabolrinnen-Kraftwerk in Kuwait.

Standortwahl und Qualifizierung eines Projekts hilfreich, Verschmutzungscharakteristika und -raten zu kennen. Das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg, hat zusammen mit Industriepartnern einen automatischen, wartungsarmen Sensor entwickelt, der solche Verschmutzungen misst. Derzeit laufen Tests in einem Kraftwerk.

Das Fraunhofer ISE entwickelte die optische Messtechnik, die PSE Instruments GmbH das Gerät und den Datenlogger. Der Meteodienstleister Dornier Suntrace GmbH ist für Aufbau und Betreuung des Sensors in einem Parabolrinnen-Kraftwerk in Kuwait verantwortlich, das durch die TSK Flagsol Engineering GmbH betrieben wird.

Der Sensor misst die Verschmutzung in Reflexion. Dazu wird ein flacher Spiegel der Umgebung ausgesetzt, repräsentativ für den jeweiligen Standort. Jede Stunde schwenkt der Spiegel vor eine Öffnung, um die Intensität des an ihm reflektierten Lichts zu messen, immer im Vergleich zu einem sauberen Referenzspiegel. Solche relativen Messungen senken die Anforderungen an die Elektronik des Sensors: Drift aufgrund der starken Temperaturdifferenzen in Wüsten ist kein Problem. Der Messspiegel lässt sich austauschen, um das Streuverhalten der Verschmutzung im Labor genauer zu analysieren.

In Langzeittests soll der Sensor nun seine Autonomie und Langlebigkeit unter Beweis stellen. Ziel ist die Kommerzialisierung des Systems.

## Nachhaltige Batterie

Aus Papier und weiteren bioabbaubaren Materialien lassen sich Energiequellen für das „Internet der Dinge“ herstellen.

Da Elektronik immer wichtiger wird, nimmt auch der Elektroschrott zu. Inzwischen ist es der am schnellsten wachsende Abfallstrom. Das Internet der Dinge verschärft diese Situation weiter. Daher ist es wichtig, nicht nur High-Performance-Elektronik zu entwickeln, sondern möglichst auf nachhaltige, also bioabbaubare Lösungen zu setzen. Gerade für Umgebungs-

sensorik, Lebensmittelüberwachung und medizinische Anwendungen dürfte es viele Einmalsysteme geben, bei denen eine Bioabbaubarkeit von großem Nutzen wäre. Ein Team der Schweizer Empa aus Dübendorf hat nun eine Batterie vorgestellt, die vollständig bioabbaubar ist und pro Zelle eine Spannung von 1,2 V erreicht.<sup>2)</sup>

Beim Demonstrator handelt es sich um eine Metall-Luft-Batterie mit einem Quadratzentimeter aktiver Fläche. Als Anode dient Zink, als Kathode Graphit. Der Separator besteht aus Papier, der Elektrolyt aus Natriumchlorid, das im Papier verteilt ist. Die Stromkollektoren beruhen auf Graphitflocken und Rußpartikeln. Anode, Kathode und Kollektoren lassen sich als selbst hergestellte Tinten im Schablonendruck auftragen. Kontakte zu einem externen Stromkreis sind mit einem pflanzlichen Wachs fixiert.



Die Metall-Luft-Batterie ist bioabbaubar und liefert eine Spannung von 1,2 V.

Das Papier dient auch als Docht, um das zunächst trockene NaCl zu befeuchten. Innerhalb von 20 Sekunden erreicht die Papierbatterie ihr volles Spannungspotential. Ihr Innenwiderstand fiel um drei Größenordnungen, und die maximale Leistungsdichte betrug  $150 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  bei 0,5 mA. Für eine Stunde hielt die Batterie ihre Spannung von 1,2 V stabil, dann war der Separator ausgetrocknet. Ein erneutes Befeuchten führte wieder zu einer Spannung, für mehr als eine Stunde, allerdings nur noch mit 0,5 V.

Zur Einordnung: Miniaturisierte Funkempfänger erfordern im Betrieb beispielsweise etwa 1 mW Leistung. Das wäre durch eine größere Batteriefäche oder eine Parallelschaltung mehrerer Batterien erreichbar.

1) X. Ye et al., Adv. Photonics 4, 046006 (2022)

2) A. Poulin et al., Sci. Rep. 12, 11919 (2022)

3) A.-M. Desauty et al., Nat. Commun. 13, 4172 (2022)

## Transparente Lieferkette

Die Isotopenzusammensetzung verrät Ursprungsland und Verarbeiter.

Lithium hat sich durch die Energie- und Mobilitätswende zu einem extrem gefragten Rohstoff entwickelt. 65 Prozent des weltweit abgebauten Lithiums wandert inzwischen in entsprechende Batterien. Durch die steigende Nachfrage bekommen Umwelt- und soziale Aspekte des Abbaus immer mehr Bedeutung, zumal erste Automobilhersteller möglichst nachhaltige Lieferketten angekündigt haben. Für Materialien wie Coltan oder Gold gibt es bereits geochemische Verfahren, um die Herkunft zu ermitteln. Dieses Prinzip hat ein Forschungsteam auf Lithium übertragen.<sup>3)</sup> Beteiligt waren das französische Büro für Geologie- und Bergbauforschung BRGM, der Energiekonzern EDF und die Universität Grenobles-Alpes.

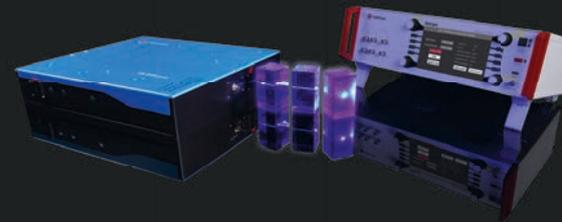
Natürlich vorkommendes Lithium hat zwei stabile Isotope:  ${}^6\text{Li}$  und  ${}^7\text{Li}$ , mit relativen Häufigkeiten von 7,6 bzw. 92,4 Prozent. Die Isotopenzusammensetzung einer Materialprobe wird in Relation zu einer Standardprobe in Promille angegeben. Für Lithium schwankt dieser Wert –  $\delta^7\text{Li}$  – in natürlichen Vorkommen zwischen –15 und +45 ‰. Die Forschenden haben Proben aus den Hauptabbaugebieten sowie exemplarisch einige weiterverarbeitete Proben massenspektroskopisch analysiert. Demnach lassen sich Proben mit  $\delta^7\text{Li}$ -Werten unter +6 ‰ mit hoher Wahrscheinlichkeit Lithium aus dem Bergbau zuordnen.  $\delta^7\text{Li}$ -Werte über +11,3 ‰ deuten auf Salzseen hin. Dazwischen liegt ein „Bereich unbekanntes Ursprungs“.

Die vielen industriellen Aufbereitungsschritte in der Weiterverarbeitung des Lithiums, die vom Unternehmen bzw. der Fabrik abhängen, machen das Verfahren komplex. Der  $\delta^7\text{Li}$ -Wert verändert sich dadurch deutlich. Für verlässliche Lithium-Fingerabdrücke ist daher eine kontinuierlich gepflegte Datenbank repräsentativer Proben erforderlich, um in Verbindung mit statistischen Verfahren den „Bereich unbekanntes Ursprungs“ zu minimieren.

Michael Vogel

# harmonic<sup>2</sup>

World leading efficiency ranging from deep UV to near infrared



## Frequency Converted Tunable Diode Laser

205 .. 780 nm, up to 20 W

### TA-SHG pro & TA-FHG pro

- Fully integrated system
- Superior passive stability
- Convenient remote operation
- Guaranteed system specs
- 19" rack integration option

learn more...



 **TOPTICA**

[www.toptica.com/harmonic](http://www.toptica.com/harmonic)