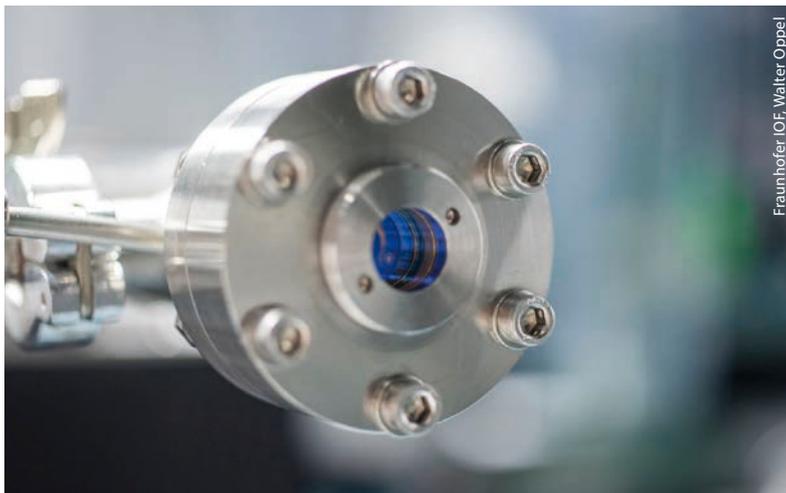


■ Kurze Messzeiten

Durch einen neuen Attosekundenlaser lassen sich Festkörper schnell und präzise spektrometrieren.

In den Materialwissenschaften und der Festkörperphysik ist es wichtig, die Eigenschaften von Elektronenbändern sehr genau zu vermessen. Dies geschieht unter anderem mithilfe der Photoelektronen-Spektrometrie, mit der sich einzelne Elektronen untersuchen

höheren Verstärkung und einem verbesserten Resonator gelöst. Das Spektrometer erreicht Repetitionsraten von 18 MHz und verkürzt dadurch die Messzeiten von einigen Stunden auf wenige Sekunden. Beteiligt waren die Fraunhofer-Institute für Angewandte Optik und Feinmechanik in Jena und für Lasertechnik in Aachen sowie das Max-Planck-Institut für Quantenoptik in Garching, wo das Spektrometer nun steht.



Fraunhofer IOF, Walter Oettel

In dieser Druckkammer mit lichtführender Faser wechselwirken die Laserpulse mit einem Gas: Dabei entstehen hochenergetische XUV-Attosekundenpulse.

lassen. Dazu schießt man mit Attosekunden-Laserpulsen Photonen auf die zu untersuchende Oberfläche und erfasst über die Laufzeit der freigeschlagenen Elektronen den Energiezustand der Elektronenbänder. Eine Laufzeitmessung ist möglich, weil die Laserpulse so kurz sind, dass quasi alle Elektronen zur selben Zeit starten. Meist arbeiten solche Systeme im Kilohertz-Bereich.

Die Laserpulse müssen einerseits genügend Energie einbringen, um Elektronen auch aus tieferen Energiezuständen freizuschlagen. Andererseits dürfen sie nicht zu viele Elektronen freischlagen, da diese sich gegenseitig beeinflussen und so die Messung verfälschen. Um genügend Elektronen für ein aussagekräftiges Ergebnis zu erfassen, ist daher die Messzeit zu verlängern. Schwierig wird das jedoch, wenn die Proben oder die Strahlquelle sich nicht ausreichend lange stabil halten lassen.

Ein Team aus Fraunhofer- und Max-Planck-Wissenschaftlern hat dieses Problem nun mit einer

Als Strahlquelle dient ein phasenstabiler Titan-Saphir-Laser, dessen Leistung die Forscher von 300 μW auf 110 W verstärken. Dazu verbreitern sie sein Spektrum mithilfe des nichtlinearen Kerr-Effekts in einem mehrfach durchlaufenen Medium. Ein breites Spektrum bedeutet kürzere Pulse. Anschließend werden alle Frequenzanteile phasenrichtig kombiniert, um die Pulsdauer zu verkürzen.

Da die so erreichte Energiedichte nicht genügt, um die Elektronen freizuschlagen, überlagern die Forscher die Pulse in einem Resonator mehrere hundert Male phasenrichtig mit den zuvor erzeugten Laserpulsen. Dadurch steigt die Intensität des Laserstrahls so weit, dass in einem Gasjet Attosekundenpulse im extremen UV entstehen. Diese Pulse haben die gewünschte Photonenenergie, um die Elektronen zu untersuchen. Die Wissenschaftler koppeln die Pulse dazu über einen speziellen Spiegel aus dem Resonator aus und führen sie dem Probenraum des Spektrometers zu.

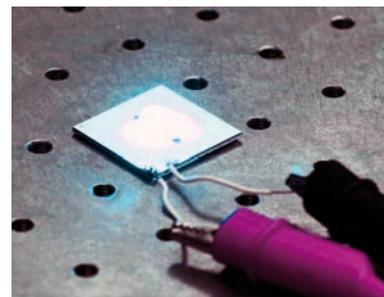
■ Hohe Ausbeute

Kolloidale Quantenpunkte machen Weißlicht-LEDs effizienter.

LEDs setzen sich in der Allgemeinbeleuchtung immer stärker durch, weil ihr Wirkungsgrad deutlich höher ist als der von klassischen Leuchtmitteln. Dass LEDs Licht nur in einem recht schmalen Spektralbereich emittieren, empfindet das menschliche Auge als eher unangenehm. Dieser Nachteil hat sich jedoch durch geschickte Farbkombinationen mildern lassen. Weiße LEDs bestehen inzwischen häufig aus einer blauen LED, auf die ein Leuchtstoff in der Komplementärfarbe aufgebracht ist. Es gibt auch noch komplexere Konzepte.

Trotzdem steckt noch einiges an Entwicklungspotenzial in weißen LEDs, um einen hohen Wirkungsgrad bei möglichst niedrigen Fertigungskosten zu erreichen. Ein Ansatz sind kolloidale Quantenpunkte, deren schmales Emissionsspektrum gezielt einstellbar ist. Allerdings liegen sie nach der Herstellung in der flüssigen Phase vor. Wenn sie im getrockneten Zustand auf der LED ihre Wirkung entfalten, ist ihre Quantenausbeute deutlich gesunken. Dies verhindert LEDs mit hohem Wirkungsgrad.

Wissenschaftler der Universität Koç in Istanbul haben dieses Problem dadurch umgangen, dass sie auf eine handelsübliche blaue LED eine sphärische, transparente Polymerlinse geklebt haben.¹⁾ In den entstehenden Hohlraum haben sie mit einer Mikronadel kolloidale Quantenpunkte eingebracht. Die flüssige Phase bleibt also erhalten – und damit die hohe Quantenausbeute. Ihre rot und grün emit-



Sedat Nizamoglu, Koç University

Die blaue LED mit aufgeklebter Linse und Quantenpunkten erzeugt mit hohem Wirkungsgrad weißes Licht.

1) S. Sadeghi et al., *Optica* 5, 793 (2018)

tierenden Quantenpunkte haben die Forscher mittels Simulationen optimiert. Nun erreichen die Nanopartikel Quantenausbeuten bis zu 84 Prozent. Die besten Labormuster der weißen LEDs schafften 105 lm/W (grüne Quantenpunkte, blaue LED), was mindestens 30 Prozent höher als bislang publizierte Werte ist, bzw. 64 lm/W (rote und grüne Quantenpunkte, blaue LED), was rund 15 Prozent unter dem bisherigen Bestwert liegt.

Die Quantenpunkte enthalten aber noch Schwermetalle – diese durch unproblematische Stoffe zu ersetzen, ist das nächste Ziel.

dem-Solarzelle gut zueinander passen. Front- und Rückzelle haben sie auf der Basis der letztlich gewählten Materialien zunächst separat optimiert und dann zusammengefügt. Die effektive lichtempfindliche Fläche liegt, wie für Labormuster in der Photovoltaik üblich, bei wenigen Quadratmillimetern.

Die Frontzelle erreicht zwischen 300 und 1000 Nanometer eine hohe externe Quanteneffizienz mit einem Maximum von 76 Prozent bei 560 Nanometer. Bei der Rückzelle liegt das Maximum von

etwa 70 Prozent zwischen 740 und 940 Nanometer. Für die resultierende Tandemzelle bedeutet das einen mittleren Wirkungsgrad von 72 Prozent zwischen 300 und 1000 Nanometer. Nach 166 Testtagen verschlechterte sich die Leistung des Labormusters um vier Prozent. Das zeigt, dass die Langzeitstabilität der organischen Verbindungen – ein Problem, das die Branche seit Jahren begleitet – weiterhin nicht gelöst ist.

Michael Vogel

2) L. Meng et al., Science, doi:10.1126/science.aat2612 (2018)

■ Organischer Rekord

Eine organische Tandem-Solarzelle erreicht einen Wirkungsgrad von über 17 Prozent.

Die organische Photovoltaik gilt als vielversprechend, um künftig kostengünstige, flexible und großflächig druckbare Solarzellen zu fertigen. Trotz aller Fortschritte liegt der Wirkungsgrad solcher Solarzellen jedoch deutlich unter dem anderer Photovoltaik-Technologien: Die besten bislang publizierten Werte aus Forschungslabors erreichten 13 bis 14 Prozent – dagegen liegen kommerziell erhältliche Siliziumzellen bereits bei 18 bis 22 Prozent. Das Problem ist die geringe Ladungsträgermobilität in organischen Materialien, wodurch die Dicke der aktiven Schicht und die Absorption des Sonnenlichts begrenzt sind. Wissenschaftler dreier chinesischer Forschungseinrichtungen haben nun eine organische Solarzelle entwickelt, die einen Wirkungsgrad von zertifizierten 17,29 Prozent erreicht. Beteiligt waren die Nankai University in Tianjin, das National Center for Nanoscience and Technology in Beijing sowie die South China University of Technology in Guangzhou.²⁾

Für die Wahl der Materialien und eines geeigneten Aufbaus haben die Forscher Materialien analysiert, deren aktive Schichten Eigenschaften aufweisen, die in einer monolithischen organischen Tan-