

# Graphen

Graphen ist eine flächige Modifikation des Kohlenstoffs mit einer wabenförmigen Anordnung der Kohlenstoffatome und einer Dicke von nur einer Atomlage. Es konnte vor ca. zehn Jahren zum ersten Mal hergestellt werden und wird seitdem intensiv untersucht. Aufgrund seiner zum Teil herausragenden Eigenschaften gehört es zu den vielversprechendsten Werkstoffentwicklungen der letzten Zeit. Anwendungsmöglichkeiten werden vor allem in der Elektronik gesehen, in Kombination mit seinen guten mechanischen und photonischen Eigenschaften, aber auch in den Bereichen Photonik, Sensorik, Photovoltaik oder in Energiespeichern. Die diesbezüglichen Untersuchungen haben inzwischen zu vielfältigen Fortschritten geführt. Trotzdem ist man von einer großtechnischen Anwendung weiterhin ein gutes Stück entfernt, was vor allem an der bisher noch besonders aufwändigen Herstellung liegt.

Zurzeit gibt es etwa ein Dutzend Herstellungsmethoden, die jeweils für Graphen in einer bestimmten Größe, Form und Qualität sowie für eine spezifische Anwendung entwickelt worden sind. Bei einer Methode werden z.B. Graphitpellets zuerst oxidiert und dann mit Ultraschall in der Lösung abgeblättert. Das abgeblätterte Graphitoxid kann anschließend auf fast jeder Oberfläche abgeschieden werden und dort, zumindest teilweise, wieder zum Graphen reduziert werden.

Großflächige polykristalline Filme können z.B. durch chemische Gasphasenabscheidung auf Kupferfolien hergestellt werden. Ein Nachteil dieser Methode ist, dass man anschließend den Graphenfilm von dem Kupferträger auf ein Isolatormaterial übertragen muss. Im Moment ist dieser Herstellungsweg noch recht teuer – wenn er aber optimiert ist, könnte das durchaus eine kostengünstige Herstellungsmethode sein. Eine weitere Methode zur Erzeugung von Graphen mit hoher Qualität verwendet Siliziumkarbid (SiC) als Ausgangsmaterial. Bei Temperaturen oberhalb von 1.000 Grad Celsius brechen die Bindungen auf, und das Silizium verdampft. Diese epitaktische Methode wird verwendet, um größere Scheiben herzustellen, deren

Trägerstruktur vollständig von einer Graphenschicht bedeckt wird.

Gerade für Anwendungen des Graphens im Bereich der Elektronik gab es in letzter Zeit große Fortschritte. Graphen ist speziell dem Silizium in mehrfacher Hinsicht überlegen, insbesondere bei der Elektronenbeweglichkeit. Elektrische Ladungen fließen theoretisch 100-mal schneller hindurch als es bei konventionellen Halbleitern der Fall ist. Graphen hat damit ein hohes Potenzial für die Entwicklung schnellerer elektronischer Bauteile und flexibler elektronischer Geräte. Nachteilig ist dabei jedoch, dass Graphen keine sogenannte Bandlücke zwischen den Energiebereichen aufweist, in denen sich die Elektronen bewegen können. Deshalb lässt sich der Stromfluss in Graphentransistoren niemals vollständig abschalten. Um Graphen dennoch für digitale Schaltkreise zu verwenden, sucht man nach Wegen, um ihm eine Bandlücke aufzuzwingen. Mit Logischen Transistoren auf Graphenbasis ist jedoch erst nach 2025 zu rechnen. Im Bereich der analogen Elektronik könnten Hochfrequenzbauteile aus Graphen bereits etwas früher einsetzbar sein, z.B. in den Sende- und Empfangsteilen von Smartphones.

Auch aufgrund seiner überlegenen mechanischen Eigenschaften werden Graphen vielfältige Anwendungspotenziale zugesprochen. So ist seine spezifische Zugfestigkeit um zwei Größenordnungen höher als bei Stahl. Die ersten großtechnischen Einsätze werden hier im Bereich der Verbundwerkstoffe erwartet. Weitere Anwendungsmöglichkeiten sind leitfähige Druckfarben, antistatische EMI-Abschirmungen (Elektromagnetische Interferenz) oder Energiespeicher, wo sie als möglicher Ersatz für die graphitbasierten Elektroden in Batterien, Kondensatoren oder Brennstoffzellen gelten. Auch zur Darstellung von dünnschichtigen Solarzellen wäre das Material verwendbar. Diese wären nicht so effizient wie Solarzellen auf Siliziumbasis, aber sie wären so leicht und transparent, dass man sie an den Fassaden von Gebäuden anbringen könnte. Aufgrund seiner Transparenz könnte Graphen darüber hinaus in transparenten leitenden Beschichtungen Verwendung zu finden. Gegen-

über dem hier herkömmlich verwendeten Indiumzinnoxid hat es eine herausragende mechanische Flexibilität und chemische Stabilität, die besonders bei flexiblen elektronischen Geräten, wie aufrollbarem elektronischem Papier oder faltbaren OLEDs (organische Leuchtdioden), gefragt sind. Insgesamt rechnet man damit, dass Graphen innerhalb der nächsten fünf Jahre in flexiblen elektronischen Geräten Anwendungen finden wird.

Zu den am meisten untersuchten photonischen Bauelementen auf Graphenbasis gehören Fotodetektoren. Im Gegensatz zu Halbleiter-Fotodetektoren kann das Material im Prinzip für eine große spektrale Bandbreite – von Ultraviolett bis Infrarot – verwendet werden. Die guten photonischen Eigenschaften kann man auch ausnutzen, um z.B. eine neue Generation von Nachtsichtgeräten zu entwickeln, die dann preiswerter wären und zudem größere Sehfelder abdecken könnten. Außerdem konnte gezeigt werden, dass optisch stimuliertes Graphen elektromagnetische Strahlung im Terahertz-Bereich aussendet. Das könnte bei der Entwicklung von neuen Terahertzgeneratoren eine Rolle spielen. Allerdings rechnet man hier nicht vor 2030 mit praktischen Anwendungen.

Wie schnell die genannten Anwendungen des Graphens auf dem Markt realisiert werden können, hängt in erster Linie davon ab, ob es gelingt, das Material mit den für den jeweiligen Einsatz spezifischen Eigenschaften im industriellen Maßstab herzustellen. Man kann daher davon ausgehen, dass diejenigen Anwendungen, die mit günstig herstellbarem Graphen von niedriger Qualität auskommen (wie z.B. gedruckte Elektronik, Elektromagnetische Abschirmungen usw.) auch die Ersten sein werden, die vermarktet werden können.

Der Schritt, Graphen von einem Wundermaterial zu einem vermarktungsfähigen Produkt umzuwandeln, steht also noch bevor. Allerdings sind sowohl die Forschung als auch die Industrie optimistisch, die Herausforderungen der Produktion in den Griff zu bekommen und bereits in den nächsten Jahren erste graphenbasierte Produkte auf den Markt zu bringen.

**Dr. Sonja Grigoleit**