

Ultrabreite Bandlücke verleiht Material hohes Leistungspotenzial

Einsatzmöglichkeiten für die nächste Generation der Elektronik

Der Weg zur nächsten Halbleiter-Generation der Hochleistungselektronik verspricht sehr interessant zu werden. Aber er muss gewissermassen «breit» sein. Sogar sehr breit – breiter als zum Beispiel die Bandlücke von Silizium.

» Henning Wriedt, USA-Korrespondent

Eine Forschergemeinschaft an der Cornell University entdeckte nämlich ein Verfahren, mit dem sich eine einkristalline Schicht aus Alpha-Aluminium Gallium-Oxid züchten lässt, welche die bisher breiteste Energiebandlücke aufweist – eine Entdeckung, die den Weg für neue Halbleiter freimacht, die höhere Spannungen, höhere Leistungsdichten und höhere Frequenzen bewältigen können als bisher bekannt.

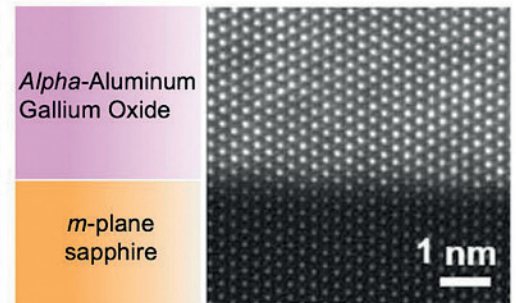
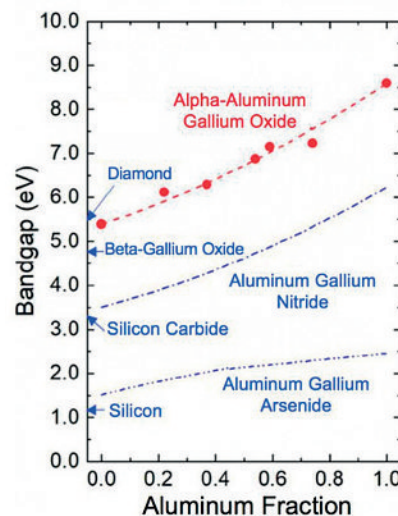
Der Forschungsbericht des Teams, «Crystal Orientation Dictated Epitaxy of Ultrawide-Bandgap 5.4- to 8.6-eV alpha-(AlGa)2O3 on M-Plane Sapphire», wurde in «Science Advances» veröffentlicht. Die Co-Leitautoren sind Riena Jinno, eine ehemalige Gastwissenschaftlerin, und Celesta Chang, Ph.D. <20.

Die Arbeit ist das jüngste Ergebnis des «Air Force Research Laboratory-Cornell Center for Epitaxial Solutions» (ACCESS) Labors, das 2018 mit dem Ziel gestartet wurde, die Einsatzmöglichkeiten von Galliumoxid für die Elektronik der nächsten Generation zu erforschen.

Eine Vielzahl von Materialvarianten

Die Galliumoxid-Familie gibt es in einer Vielzahl von Materialvarianten oder Phasen, die die gleichen Atome aufweisen, aber in leicht unterschiedlichen Konfigurationen, die jeweils eine ganz andere Palette von elektronischen und optischen Eigenschaften mit sich bringen.

Wissenschaftler haben bisher die Beta-Phase bevorzugt, weil sie die stabilste Mate-



Cornell University

Der linke Bildbereich zeigt die Energiebandlücke von Alpha-Aluminium-Galliumoxid im Vergleich zu ähnlichen Materialien sowie den Effekt des Austauschs von Galliumatomen durch Aluminium. Der rechte Bildteil zeigt Alpha-Aluminium-Galliumoxid, das auf einem Substrat aus Saphir gezüchtet wurde.

rialform ist. Aber die Phase, die aufgrund ihrer grösseren Bandlücke die interessantesten Aussichten hat, ist Alpha-Galliumoxid und seine Legierungen mit Alpha-Aluminiumoxid, allgemein bekannt als Saphir. Der grösste Nachteil der Alpha-Phase des Galliumoxids ist, dass es nicht so stabil ist wie seine Beta-Variante.

Defekte verleihen Materialien oft einzigartige Eigenschaften

Die Forscher begannen, ein stabileres Alpha-

Galliumoxid zu erzeugen, indem sie es auf einem Substrat aus Saphir züchteten, das eine ähnliche atomare Struktur aufweist.

Dr. Jinno verwendete die Molekularstrahlepitaxie – informell als «atomares Sprühlackieren» bekannt –, um die einlagige Schicht zu erzeugen. Chang nutzte dann die Rastertransmissionselektronenmikroskopie, um zu untersuchen, wie die Atome angeordnet waren, und um etwaige Defekte zu erkennen, die durch nicht perfekt ausgerichtete Kristallgitter entstanden sein könnten. Genau diese

Defekte verleihen Materialien oft einzigartige Eigenschaften, sie können aber auch die Performance von elektronischen oder photonischen Komponenten verschlechtern.

Stabiler Alpha-Galliumoxid-Film

Eines der Probleme, auf die Jinno und Chang stiessen, war, dass sich manchmal verschiedene Phasen in ihre Proben einschlichen. «Saphir hat viele Facetten», sagte Chang. «Wenn man auf einer Facette wächst und dann auf der anderen Facette, wird die Qualität der Alpha-Galliumoxid-Filme völlig unterschiedlich sein. Es ergibt sich nicht immer ein guter, sauberer, qualitativ hochwertiger Film.»

Das Team identifizierte schliesslich die richtige Symmetrie der rechten Saphir-Facette, die sogenannte m-Ebene, die zu einem stabilen Alpha-Galliumoxid-Film führte. Sie ersetzten zudem «langsam» einige der Galliumatome durch Aluminium, um die Bandlücke noch weiter zu vergrössern.

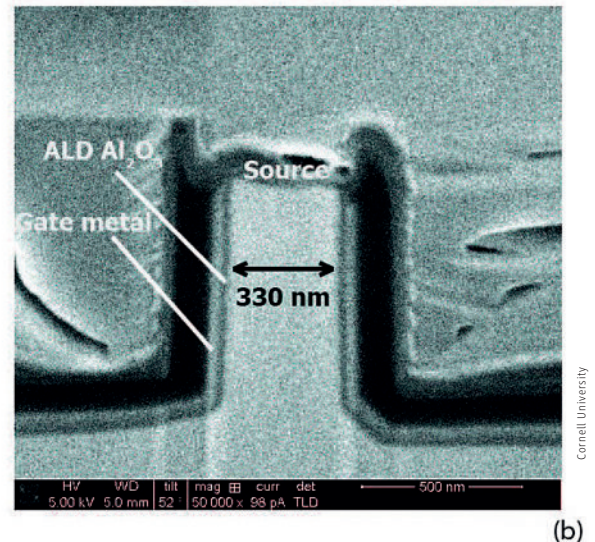
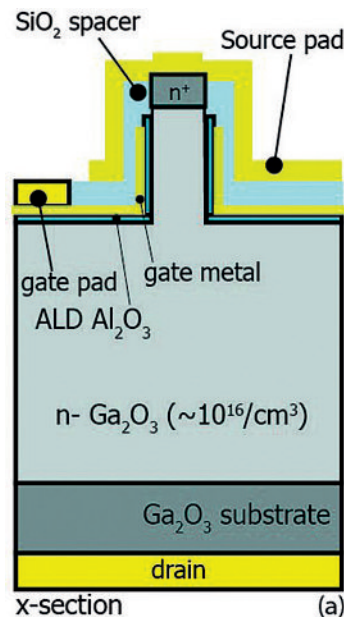
Fast das Achtfache der Bandlücke von Silizium

Herkömmliches Galliumoxid hat eine Bandlücke von 3 bis 4,7 eV (Elektronenvolt); jedes Elektronenvolt bedeutet einen grossen Leistungssprung. Beta-Galliumoxid erreicht bis zu 4,8 eV. Die Bandlücke des neuen Alpha-Aluminium-Gallium-Oxids beginnt bei 5,4 eV und vergrössert sich mit dem Einbringen von mehr Aluminium auf 8,6 eV – fast das Achtfache der Bandlücke von Silizium.

«Dies sind tatsächlich die Kristalle mit der breitesten Energiebandlücke, die jemals durch Epitaxie realisiert wurden. Die Tatsache, dass Riena und Celesta diese atomaren Schichten zu züchten und zu verstehen vermochten und die richtige Versuchsgrundlage – nämlich die Oberfläche von Saphir – gefunden hatten, um sie darauf zu züchten, ist ein grosser Durchbruch», sagte Jinno, der die aktuelle Arbeit mit der Entdeckung von hochwertigem kristallinen Galliumnitrid in Verbindung bringt, das in den letzten zwei Jahrzehnten die LED-Beleuchtung revolutionierte.

Entscheidende Eigenschaften

Alpha-Aluminium-Galliumoxid ist nicht nur robust genug, um enorme Energiemengen bei hohen Geschwindigkeiten und hohen Temperaturen zu handhaben, es ist auch noch leicht und kompakt – Eigenschaften, die es zu einer entscheidenden Komponen-



Die schematische Darstellung (links) zeigt einen vertikalen Galliumoxid-Feldeffekttransistor hoher Leistung. Die rasterelektronenmikroskopische Aufnahme (rechts) des Transistors veranschaulicht einen 330 nm breiten und 795 nm langen Kanal.

te in der Luftfahrttechnik sowie in anderen Hochleistungselektroniksystemen machen könnten.

Das Material ist ausserdem unglaublich effizient, was den Energieverlust bei der Umwandlung und Übertragung von Solarleistung reduzieren könnte.

Materialien neu überdenken

«Was die Energiekapazität betrifft, erreichen die Halbleiter wirklich Neuland», sagte Jinno. «Gleichzeitig zwingt es uns, die Materialien neu zu überdenken, von denen wir immer glaubten, sie seien Isolatoren, wie zum Beispiel Saphir. Können wir ihre Eigenschaften tatsächlich zu unserem eigenen Vorteil verändern, indem wir ihre Energielücken und elektronischen Eigenschaften durch Dotierung kontrollieren, wie wir es bei Silizium und Galliumnitrid tun?»

Erster Durchbruch im Jahr 2018

Die Forschung wurde von ACCESS, dem JSPS Overseas Challenge Program for Young Researchers und dem Air Force Office of Scientific Research unterstützt.

Bereits im Jahr 2018 erzielten Cornell-Wissenschaftler einen Durchbruch in der Halbleitertransistor-Forschung, der das Potenzial für elektronische Anwendungen mit

hoher Leistung bei gleichzeitig reduziertem Stromverbrauch bietet.

Attraktive Alternative

Dieses Forschungsprojekt demonstrierte Metall-Isolator-Halbleiter-Feldeffekttransistoren (MISFETs) mit einer Rekordleistung unter Verwendung eines neuen Materials. Galliumoxid hat sich ja in den letzten Jahren zu einem begehrten Material für Halbleiter in Hochleistungsanwendungen entwickelt. Seine Haupteigenschaften – eine sehr breite Bandlücke und die Verfügbarkeit von grossflächigen perfekten Kristallen – machen es zu einer attraktiven Alternative zu Silizium für die Hochleistungselektronik. «

QUELLE

Cornell University
<http://www.cornell.edu>

