



Licht aus – Spot an

Würde Ilja Richter heute in typischer Manier den Siegersong ankündigen, wäre nur eine kleine LED-Lampe erforderlich, um den Interpreten in gleiches Scheinwerferlicht zu stellen. Inzwischen liefern bereits winzige Halbleiterchips sattes Flutlicht bei äußerst magerem Energieverbrauch. Noch dazu halten die kleinen Leucht wonder ewig. Kein Wunder also, dass sie derzeit die Lichttechnik revolutionieren. Es gibt aber noch viele weitere Anwendungen, in denen große Hoffnungen auf dem gleichen Werkstoff liegen: Siliziumcarbid, ein alter Werkstoff wird gerade neu entdeckt.

Als technische Keramik ist Siliziumcarbid (SiC) in Gleitlagern, Pumpen und Brennern schon seit vielen Jahrzehnten weit verbreitet. Seiner Verwendung als Halbleiter standen jedoch große Probleme in der Kristallzucht lange Zeit im Weg. Wie so oft in der Technik, versperrten auch hier die Probleme in der Produktion den Durchbruch. Erst seit einigen Jahren sind leistungsfähige Produktionsanlagen, wie die SiCube oder baSiC-T der PVA TePla AG in der Lage, hochreine Siliziumcarbid-Kristalle im geforderten Volumen, wiederholbar und wirtschaftlich zu produzieren. Seit dem wächst die Zahl der Marktstudien, die dem Verbindungshalbleiter eine glänzende Zukunft prophezeien. Viele Experten erwarten bis zum Jahr 2020 eine Verachtfachung des aktuellen Marktvolumens. Der Grund für diesen Optimismus: Siliziumcarbid ist in so wachstumsstarken Märkten wie der Ökostromgewinnung, der Elektromobilität und der Lichttechnik zuhause und in diesen zukunftssträchtigen Anwendungen dem Elementhalbleiter Silizium deutlich überlegen.

PHANTASTISCHE WIRKUNGSGRAD

Gerade am Beispiel regenerative Stromerzeugung springen die Vorteile ins Auge: Photovoltaik- oder Windkraftanlagen produzieren ausschließlich Gleichstrom. Um den ins Netz einspeisen zu können, muss er in Wechselstrom umgewandelt werden. Eine Aufgabe, die Silizium-Halbleiter in sogenannten Wechselrichtern übernehmen. Jeder private Stromproduzent besitzt eines dieser Module in seiner PV-Anlage. Dabei erreichen Wechselrichter – wie jedes technische Bauelement – aufgrund von Durchlassverlusten keinen 100%igen Wirkungsgrad. Bei Systemen auf Siliziumbasis rangiert dieser in der Regel zwischen 50 und 70%. Als im Jahr 2008 das Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE vermeldete, dass sich mit Siliziumcarbid-Bauelementen ein Wirkungsgrad von 98,5% realisieren lässt, dürften sich hierzulande schon alle Investoren von Windkraft- oder PV-Anlagen die Hände gerieben haben. Im günstigsten Fall entspricht das nämlich fast einer Verdoppelung der erreichbaren Rendite. Physikalisch gesehen geht die hohe Schalteffizienz auf die drei Mal größere Bandlücke zwischen Valenz- und Leitungsband des Siliziumcarbids zurück. Dadurch werden unerwünschte, weil wirkungsgradmindernde Elektronenübergänge zwischen den Bändern z.B. durch Tunneleffekte weitgehend unterdrückt. Anliegender Strom geht dadurch nicht verloren.

BEHÄLT KÜHLEN KOPF

Ein weiterer Vorteil des Siliziumcarbids ist seine hohe Temperaturfestigkeit und Wärmeleitfähigkeit. Während Silizium bereits bei rund 1.400°C schmilzt, hält Siliziumcarbid fast doppelt so hohen Temperaturen stand. Die hauchdünnen Halbleiterstrukturen in Siliziumcarbid-Chips vertragen daher deutlich höhere Arbeitstemperaturen. Das heißt, in der Praxis können höhere Stromdichten transformiert werden. Zugleich braucht es weniger Aufwand zum Kühlen. Hochvoltbauelemente aus Siliziumcarbid arbeiten selbst bei Betriebstemperaturen von über 250°C absolut sicher. In vielen Anwendungen ein enormer Vorteil: Schließlich werden z.B. bei Windkraftanlagen unter normalen Bedingungen mehrere hundert Kilowatt elektrische Leistung transformiert. Beim geplanten Umbau der Stromnetze haben Hochvoltbauelemente aus SiC daher Vorfahrt. Mit ihnen lassen sich Schaltungen erheblich effizienter, kostengünstiger und kompakter realisieren.

SILIZIUMCARBID (SiC)

Im Vergleich zum reinen Elementhalbleiter Silizium besitzt der Verbindungshalbleiter Siliziumcarbid nicht nur durch seine überlegenen Halbleitereigenschaften. Mit einem drei Mal größeren Abstand zwischen Valenz- und Leitungsband lassen sich Schaltverluste um 90% reduzieren. Hochvoltbauelemente zeigen einen Wirkungsgrad nahe an 100%. Zugleich lassen sich wesentlich höhere Stromdichten übertragen. Dabei kommt dem Werkstoff seine hohe Temperaturstabilität zugute. Erst ab 2.300°C fängt die Zersetzung an, während das Silizium bereits bei 1.410°C schmilzt. Daher vertragen Bauelemente aus SiC deutlich höhere Arbeitstemperaturen. Sehr viel kompaktere, Platz sparende Bauformen sind möglich, weil Kühlmaßnahmen ganz verzichtbar sind oder zumindest stark reduziert werden können.

ES WERDE LICHT

Kommerziell am stärksten im Licht der Öffentlichkeit stehen weiße LEDs in denen das Siliziumcarbid als Substrat verwendet wird. Die geradezu spektakuläre Leuchtkraft bei minimalem Verbrauch geht fast immer auf dieses Halbleitermaterial zurück. Mit Ausbeuten von weit über 100 Lumen pro Watt (im Labor bereits 200 lm/W) erzielen SiC-Nitrid-Chips eine zehn Mal höhere Lichtausbeute als herkömmliche Glühlampen. Anfangs stand hier noch das eher kalte, bläulich-weiße Licht der LEDs einer breiten Akzeptanz im Weg. Durch das Aufbringen von Phosphorschichten sind jedoch inzwischen abgestufte Weißtöne von Warmweiß bis hin zu Tageslichtweiß erhältlich. So hat sich die LED-Technik in den letzten Jahren von der Nische Sport- und Eventbeleuchtung mehr und mehr in die Wohnräume vorgearbeitet. Bis zu 90% Energieeinsparung und eine nahezu lebenslange Haltbarkeit sind die treibenden Verkaufsargumente in diesem Markt.

SCHLÜSSELTECHNOLOGIE IM STROMER

Antrieb ist auch das Stichwort für eine weitere Schlüsseltechnologie, in der Siliziumcarbid derzeit durchstartet: Die Elektromobilität. Alle E-Fahrzeuge und Hybride benötigen ähnlich wie PV-Anlagen einen Stromrichter: Der steuert den Elektromotor und ist damit – analog dem Motormanagementsystem in Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor – ausschlaggebend für das Fahrverhalten. Gleichzeitig speist er die beim Bremsen zurückgewonnene Energie in den Akku ein (Rekuperation), so dass die Reichweite der Stromer unmittelbar von der Effizienz dieses Aggregats abhängt. Hier besitzt Siliziumcarbid die gleichen Vorteile wie sie bereits bei den PV-Anlagen beschrieben wurden: hohe Schaltfrequenz, geringe Durchlassverluste, Gewichtseinsparung durch verminderten Kühlaufwand und infolge dessen auch eine platzsparende, kompakte Bauform. Allesamt wichtige Kriterien im Automobilbau. Derartige Stromrichter sind rund 25% kleiner und leichter als ihre Silizium-Pendants. Bei Wirkungsgraden von über 95% tragen diese Module bereits heute in Pkw und Bussen zu Energieeinsparungen im Bereich von etwa 60% bei!

E-MOBILITY – EIN MEGATREND

Dass der Elektromobilität im Verkehr die Zukunft gehört, darin sind sich die Experten längst einig. Erst kürzlich verkündete Matthias Wissmann, der Präsident des Verbandes der Automobilindustrie (VDA) auf der Internationalen Automobil-Ausstellung (IAA) in Frankfurt, dass bereits Ende 2014 die Zahl der Hybride oder rein batterieelektrisch betriebenen Serienmodelle ‚Made in Germany‘ auf 16 steigen wird. Die Unternehmensberatung McKinsey sieht Deutschland gar bald in einer Führungsrolle. Im Jahr 2018 erwarten die Berater, dass hierzulande rund 370.000 Elektrofahrzeuge vom Band rollen. Mit weitem Abstand werden die USA und Frankreich folgen. Als wichtigsten Produktionsstandort sehen die Experten Japan mit etwa 950.000 Einheiten. Über den Einsatz auf der Straße hinaus eröffnet sich natürlich auch mit dem elektrisch betriebenen Schienenverkehr ein riesiger Markt.



Zwei Anlagentypen der PVA TePla AG:
baSiC-T und SiCube

EXTREM SCHWIERIGE HERSTELLUNG

Wer sich die überzeugenden Eigenschaften des Siliziumcarbids anschaut, muss sich zwangsläufig fragen, weshalb es diesem gar nicht so neuen Werkstoff erst in den letzten zehn Jahren gelungen ist, im Halbleitermarkt zu reüssieren? Tatsächlich standen lange Zeit die Probleme in der Herstellung auf der Bremse. Als technische Keramik entsteht Siliziumcarbid durch einfaches Sintern – dem Verpressen von Pulver bei sehr hohem Druck und hohen Temperaturen. Dieses Verfahren ist recht einfach und weit verbreitet. Die Herstellung erster halbleitertechnisch verwertbarer Mengen an kristallinem Material gelang hingegen erst im Jahr 1977. Bis Mitte der neunziger Jahre dauerte es, um das Verfahren soweit auszureifen, dass 3-Zoll-Einkristalle in nennenswerten Mengen hergestellt werden konnten. Diese waren jedoch für die meisten Anwendungen immer noch zu teuer.

MIT ZWEI ANLAGENTYPEN IN DEN STARTLÖCHERN

Heute zählen 4 und 6-Zoll Anlagen zum Standard. Abhängig von der Anwendung können 20 bis 40 Wafer aus den bis zu 3 cm langen Einkristallen geschnitten werden. Die PVA TePla AG ist mit zwei Anlagentypen in diesem Wachstumsmarkt vertreten. Neben der SiCube wurde im letzten Jahr die neue baSiC-T eingeführt, die speziell für moderne Anwendungen und Anforderungen im Bereich Power Electronic konzipiert ist. Sie arbeitet nach der PVT-Methode (Physical Vapor Transport) und kann SiC Kristalle mit einem Durchmesser bis 6 Zoll (150mm) produzieren. Dabei entstehen qualitativ hochwertige Siliziumcarbid-Kristalle durch Sublimation eines Ausgangspulvers bei hohen Temperaturen. Die Stärken des baSiC-T-Anlagenkonzepts liegen im modularen Aufbau, den niedrigen Betriebskosten und dem hohen Automatisierungsgrad. Das hat bereits mehrere Kunden in Europa und Asien überzeugt.

FAZIT

Heute entfallen rund 40% des gesamten Energieverbrauchs auf die elektrische Energie. Den Löwenanteil von etwa 50% machen elektrische Antriebe aus. In der Abstufung 19, 16, und 14% folgen die Lichttechnik, das Heizen & Kühlen sowie die IT. Mit der Aussicht, den Verbrauch durch Verwendung verbesserter Werkstoffe wie dem Siliziumcarbid erheblich reduzieren zu können, steigt die Nachfrage selbstverständlich. Hinzu kommt, dass Siliziumcarbid in absoluten Wachstumsmärkten vertreten ist: Ausbau regenerativer Energiequellen, intelligente Netze, Elektromobilität und LED-Technik. Diese Megatrends werden uns auch in den nächsten Jahren sicher begleiten. Als Treibstoff dienen steigende Strompreise. Kein Wunder also, dass Prognosen den Siliziumcarbid-Markt um etwa das Zehnfache in der kommenden Dekade wachsen sehen. Langfristig werden Anlagen zur wirtschaftlichen Herstellung des gefragten Werkstoffs gebraucht. Anlagen wie die baSiC-T oder die SiCube der PVA TePla AG.