QSense4Power

Quantum Sensorics for Power Electronics

Programm / Ausschreibung	Quantenforschung (QFTE), Quantenforschung und -technologie (QFTE), QFTE 2019 national	**Status**	abgeschlossen
Projektstart	01.04.2020	**Projektende**	30.11.2022
Zeitraum	2020 - 2022	**Projektlaufzeit**	32 Monate
Keywords	quantum sensing; deep-level crystal defects; colour centres; silicon carbide; power electronics		

Projektbeschreibung

Siliziumcarbid (SiC) entwickelt sich rasch zu dem bevorzugten Material der Wahl für Leistungselektronik-Bauteile, um zukunftsweisende Produkte wie beispielsweise für die gesamte Elektromobilität essentielle Schnellladesysteme, Inverter für Photovoltaik-Anlagen, und damit für die umweltverträgliche Erzeugung erneuerbarer Energien, und eine Reihe von Anwendungen für harte Umgebungs- und Anwendungsbedingungen zu realisieren. Die praktische Anwendbarkeit von SiC als Halbleitermaterial wird bislang jedoch, trotz wesentlicher Fortschritte in der Material- und Prozessentwicklung, durch eine Reihe von Herausforderungen bei der Prozessierung begrenzt. Dies umfasst die Kontrolle von Materialdefekten ebenso wir die Qualität von Gateoxiden und passende Aufbau- und Verbindungstechniken für SiC Bauelemente. Diese Mängel limitieren die Leistungsfähigkeit und Ausbeute und behindern dadurch weitere zukunftsweisende Fortschritte in diesem Wachstumsbereich.

Ein davon unabhängiges Charakteristikum von SiC sind langlebige Spin-aktive Punktdefekte, vergleichbar NV-Zentren in Diamanten, die für Quantensensorik bei Raumtemperatur und sogar darüber hinaus genutzt werden können. Passend angeregt und ausgelesen können solche Quanten-aktiven Spin-Zentren mit extrem hoher räumlicher Auflösung (O ~ nm^3) und hoher Sensitivität direkt Informationen über lokale Eigenschaften und Parameter liefern, insbesonders über das magnetische Feld und die Temperatur sowie, wenngleich in geringerem Maße, das elektrische Feld und mechanische Spannungszustände. Erste Studien untersuchen derzeit die praktische Nutzbarkeit dieser Effekte zur Realisierung von Quantensensoren für z.B. magnetische Felder.

Das Hauptziel von QSense4Power ist die Kombination dieser Eigenschaften um so – erstmalig – Spindefektzentren-basierte Quantensensortechnologien auf reale, funktionale (Leistungs-) Elektronik-Bauelemente anzuwenden, beginnend mit einer kombinierten Schottky PIN Diode. QSense4Power beabsichtigt somit die – zumeist ungewünschte – Präsenz von Defekten aktiv für die Materialcharakterisierung und -optimierung zu nutzen. Die dadurch ermöglichte räumlich hochaufgelöste 3D-Analyse der Temperaturen direkt im Bauelement während des Betriebs liefert essentielle Daten für das Temperaturmanagement von und in Leistungshalbleitern. Räumlich aufgelöste Magnetfeldmessungen ermöglichen gleichzeitig die Stromdichteverteilungen im Bauelement direkt und quantitativ zu messen, und aus der Detailanalyse der zugrundeliegenden Elektro- und Photoluminiszenz-Effekte können unmittelbare Einblicke in die lokalen Bandstrukturen und (Quasi-)Fermi-Niveaus gewonnen werden.

Leistungsfähigkeit und Charakteristika von Leistungselektronik-Bauteilen hängen stark von Materialqualität und Prozessierung ab. Für die Entwicklung und Nutzbarmachung von SiC, einem im Fokus substantieller F&E-Anstrengungen stehenden, aufkommenden Material, wären direkt integrierbare Diagnosemethoden somit von unschätzbarem Wert. Das angestrebte Resultat von QSense4Power sind dem entsprechend Quantensensor-basierte Techniken die hochpräzise diagnostische Informationen über jeden Produktionsschritt, sowie während der elektrischen Prüfungen der Bauelemente, liefern. In Kombination mit einer systematischen Studie bezüglich Prozessierungsansätzen und -parametern liefert QSense4Power somit ein essentielles Werkzeug für zielgerichtete, effiziente F&E an SiC-Materialien und -Bauelementen. Längerfristig können derartige Methoden auch für In-line Prozess- und Qualitätskontrolle in der Bauteilfertigung oder für Lebenszyklus- und Alterungsstudien von Relevanz sein.

Abstract

Silicon carbide (SiC) is rapidly emerging as the prime material of choice for high-power electronics enabling seminal products, for instance rapid chargers essential for boosting electro-mobility, inverters in photovoltaics to aid eco-responsible renewable energy generation, and a range of applications in harsh environments. However, despite substantial advances in material and processing technologies, the practical usage of SiC as a semiconductor material still comes with a range processing challenges, including control of material defects, gate oxidation quality and the packaging of SiC devices. These shortcomings presently limit performance and yield of these advanced devices, and impede further trend-setting advances in this emerging field.

An unrelated property of SiC is that it may support long-living spin-active point defects, similar to NV centres in diamonds, that can be used for quantum sensing at room temperatures and even above. Suitably excited and interrogated, quantum-active spin centres yield direct information on local properties, mainly the magnetic field and temperature plus, to a smaller extent, also electric field and material strain, with extremely high spatial resolution (O ~ nm^3) and high sensitivity. First studies presently investigate the exploitability of these effects for realising quantum sensors for e.g. magnetic fields.

In a combination of both facts, the main goal of QSense4Power is to implement – for the first time – spin defect centre-based quantum sensing techniques on a practical, functional (power-) electronics device, starting with a merged Schottky PIN diode. QSense4Power thus intends to actively exploit the presence of – usually undesirable – defects for material characterisation and optimisation purposes. Enabling a spatially highly resolved 3D mapping of the temperatures directly within the device during operation will deliver vital data for thermal management of and in power electronics. Spatially resolved magnetic field measurements will simultaneously allow to directly quantify the current density distribution within the devices, and the analysis of the underlying electro- and photo-luminescence can deliver direct insights into local band structures and (quasi-)Fermi energy levels.

For SiC as an emerging material that is subject to serious ongoing research, such integrated diagnostics would be invaluable, as device performance is strongly dependent on material quality and processing details. Our envisaged outcome for QSense4Power is to deliver techniques based on quantum sensing that serve as development tools for new devices and processes, providing highly precise diagnostic information for each production step, and during electrical testing of the devices. Combined with a systematic study into processing approaches and parameters, QSense4Power will provide an essential tool for targeted, efficient R&D into SiC materials and its devices. On the longer run, the method may even be of relevance also for in-line monitoring in quality control during device production, or in life-cycle and ageing studies.

Projektkoordinator

- Silicon Austria Labs GmbH

Projektpartner

- Infineon Technologies Austria AG
- Universität Wien
- T.I.P.S. Messtechnik GmbH