



UNIVERSITÄT
LEIPZIG

Verbundvorhaben

**Raumtemperatur-Quantensensorik für die
Elektromobilität**

RaQuEI

Teilvorhaben

**Herstellung und Untersuchung von
NV-Diamantpartikeln geeignet zur kosten-
günstigen industriellen Massenfertigung von
RT-Quantensensorelementen.**

Schlussbericht Teil I

der
Universität Leipzig

Berichtszeitraum
Juni 2021 – Dezember 2024

Förderkennzeichen
13N15490

Aufgabenstellung

Ziel des Projektes war es, mit Hilfe von Quantum Sensoren auf Diamantbasis shunt-widerstandslose Stromsensoren, im Wesentlichen für Automotivanwendungen zu entwickeln. Die Aufgabe der Universität Leipzig bestand darin, geeignete Sensormaterialien auf Basis von NV Zentren in Diamant herzustellen und zu charakterisieren. Als überprüfbare Ziele war die Anfertigung eines Demonstrators geplant und die Entwicklung von Methoden zu dessen Qualitätssicherung. Weiterhin sollten Maßnahmen gefunden werden, um den Sensor gegenüber Umwelteinflüssen und Alterung zu schützen. Neben den geplanten Arbeiten wurden in der Projektphase neue Merkmale des Sensors entdeckt, die eine Selbstkalibration in Aussicht stellen.

Stand Wissenschaft und Technik zu Vorhabenbeginn

Es gab zwar erste grundlegende Ergebnisse, die auf eine industrielle Nutzung des Sensors auf NV Basis hinwiesen, jedoch wurden diese Untersuchungen nicht im Hinblick einer konkreten Anwendung durchgeführt. Die Anwendbarkeit z.B. im Automotiv Bereich mit den dort herrschenden strengen Qualitätskriterien war nicht bekannt. Auch war die Umsetzbarkeit des Sensors in Umgebungstemperaturen von -40°C bis zu 50°C nicht erforscht.

Ablauf des Vorhabens

Unser Teilprojekt gliederte sich in 4 Arbeitspakete, die in der Verbundforschung eingebunden wurden.

AP1 Konzeption: Analyse bestehender Verarbeitungsverfahren und Simulationen der Bestrahlungseffekte zur Optimierung der Sensorkonzeption. Vergleich verschiedener Herstellungsmethoden des NV-Materials.

AP2 Sensormaterial: Herstellung von Sensormaterialien mit unterschiedlichem Ausgangsmaterial in Bezug auf Größe und Stickstoffkonzentration.

AP4 Bewertung der Qualität der Diamantkristalle: Die Bewertung erfolgte anhand von Fertigungs- und Sensoreigenschaften. Hierbei wurden verschiedene Kristalleigenschaften mittels optischer Verfahren untersucht. So wurde ein Verfahren entwickelt, mit dem man die Kristallrichtung sehr präzise in einem homogenen Magnetfeld ausrichten kann. Bei dieser Untersuchung wurden neben den schon bekannten Resonanzlinien viele unbekannte Linien entdeckt, deren Ursache bislang nicht theoretisch beschrieben werden kann.

AP7 Charakterisierung: Verifikation und Zuverlässigkeitsbewertung: In Zusammenarbeit mit den Projektpartnern wurden die Bewertungen und Analysen modifiziert, um die Demonstratoren zu optimieren.

Darstellung der wissenschaftlichen bzw. technischen Ergebnisse

In dem Projekt konnten folgende wissenschaftliche Fortschritte und technische Neuheiten erzielt werden:

1. Optimierung von Sensormaterial durch optimierte Bestrahlungsmethoden und Temperaturbehandlung von Diamantpartikeln.

2. Optimierung der Diamantpartikelgröße und dessen Oberflächenterminierung.
3. Einbau von Diamantpartikeln in einer Glasumgebung.
4. Einbau des Sensors als Gitarren-Pickup zur Demonstration von dessen Schnelligkeit.
5. Untersuchung von Strukturen im Floreszenzverhalten zur Selbst-Kalibration von Sensoren.
6. Entwicklung eines Nullfeldsensors.

Während des Projektes wurden zwei wiss. Ergebnisse mit den Partnern veröffentlicht.

- **Creation of diamond membranes containing nitrogen-vacancy centers by means of ion irradiation (doi.org/10.1063/5.0214393) untersucht die Herstellung von Sensor Membranen mittels Ionenbestrahlung. *Appl. Phys.* 136, 044402 (2024)**
- **DEVELOPMENT AND APPLICATION OF INDUSTRIAL USEABLE QUANTUM Sensors (doi.org/10.1051/epl/2025214) stellt die Vor- und Nachteile von mikrowellenfreien Magnetfeldsensoren auf NV Basis vor. *Europhysics News* 56 (2), 36-38**

Verwertungsmöglichkeiten:

Die Entdeckung der zusätzlichen Resonanzlinien in der Abhängigkeit von Floreszenz und Magnetfeld kann verwandt werden, um eine Kalibration der Sensoren durchzuführen. Diese zum Teil sehr definierten Strukturen werden durch Wechselwirkungen mit Kernspins verursacht und sind unabhängig von äußeren Einflüssen. Leider werden diese Strukturen nur bei ausgerichteten Diamantkristallen beobachtet. Eine ähnliche Struktur wird im Nullfeld gefunden und basiert vermutlich auf einer Spin-Spin Wechselwirkung von NV-Paaren. Diese Struktur ist ebenfalls zur Kalibration geeignet.

Zusammenfassend konnte das Projekt wesentliche Fortschritte in der Entwicklung eines marktfähigen Quantensensors erzielen. Durch die interdisziplinäre Zusammenarbeit und iterative Optimierung der Komponenten wurde ein funktionierendes Demonstratorsystem realisiert.