

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR ANGEWANDTE FESTKÖRPERPHYSIK IAF

PRESSEINFORMATION

PRESSEINFORMATION

01. April 2019 || Seite 1 | 6

Fraunhofer-Leitprojekt zur Quantentechnologie in Freiburg gestartet

Quantenmagnetometer für industrielle Applikationen

Am 1. April 2019 startet die Fraunhofer-Gesellschaft das Leitprojekt »Quantenmagnetometrie« (QMag): Die Freiburger Fraunhofer-Institute IAF, IPM und IWM wollen die Quantenmagnetometrie aus dem universitären Forschungsumfeld in konkrete industrielle Anwendungen überführen. Im Schulterschluss mit drei weiteren Fraunhofer-Instituten (IMM, IISB und CAP) entwickelt das Forscherteam hochintegrierte und bildgebende Quantenmagnetometer mit höchster Ortsauflösung und optimierter Empfindlichkeit.

Das Leitprojekt QMag ermöglicht die Nutzung einzelner Elektronen zum Nachweis kleinster Magnetfelder. Dadurch können Magnetometer industriell eingesetzt werden, beispielsweise bei der Fehleranalyse nanoelektronischer Schaltungen, zum Nachweis verdeckter Materialrisse oder zur Realisierung besonders kompakter Kernspintomographen. »Unsere Leitprojekte setzen wichtige strategische Schwerpunkte, um konkrete technologische Lösungen für den Wirtschaftsstandort Deutschland zu entwickeln. Mit QMag entsteht zurzeit ein Fraunhofer-Leuchtturm im Bereich der Quantentechnologien. Das ambitionierte Ziel der beteiligten exzellenten Forscherinnen und Forscher ist es, die Technik signifikant weiterzuentwickeln und künftig international zu definieren. Auf diese Weise können die revolutionären Neuerungen der Quantenmagnetometrie langfristig in einsatzfähige Industrieanwendungen überführt werden«, erklärt Fraunhofer-Präsident Prof. Reimund Neugebauer.

Das Projekt QMag läuft bis 2024 und wird mit insgesamt 10 Mio. Euro zu gleichen Teilen von der Fraunhofer-Gesellschaft und dem Land Baden-Württemberg gefördert. Das Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik IAF, das Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM und das Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM bilden das Kernteam des QMag-Konsortiums. »Die Kombination der beteiligten Projektpartner ist ein herausragendes Alleinstellungsmerkmal von QMag. Damit wird Freiburg zum führenden Forschungsstandort für industriell eingesetzte Quantensensoren - nicht nur in Baden-Württemberg, sondern in ganz Deutschland«, sagt Wirtschaftsministerin Dr. Nicole Hoffmeister-Kraut. Das Fraunhofer IAF übernimmt die Gesamtkoordination des Leitprojekts.

Redaktion

Dr. Anne-Julie Maurer | Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik IAF |

Telefon +49 761 5159-282 | Tullastraße 72 | 79108 Freiburg | www.iaf.fraunhofer.de | anne-julie.maurer@iaf.fraunhofer.de

Von der klassischen zur Quantenmagnetometrie

Die Magnetometrie hat grundsätzlich zwei Ziele: Magnetfelder hochpräzise und auf kleinster Skala zu messen. Magnetometer werden schon lange intensiv genutzt – sei es als Kompass zum Nachweis des Erdmagnetfelds, für geologische Untersuchungen oder zur Analyse der nanostrukturierten Magnetschichten in Computer-Festplatten für die Datenspeicherung. In der wissenschaftlichen und technischen Nutzung von Magnetfeldern gab es in den letzten Jahrzehnten vielfältige Durchbrüche, allerdings stellt die Detektion kleinster Magnetfelder mit höchster Ortsauflösung bei Raumtemperatur bis heute eine große wissenschaftliche Herausforderung dar.

Die bislang verfügbaren Magnetsensoren sind für den industriellen Einsatz nur bedingt geeignet, da ihr Betrieb mit hohen Kosten und technischem Aufwand, wie etwa einer extremen Kühlung, verbunden ist. Insbesondere für den bildgebenden Nachweis der Felder, die durch wenige bewegte Elektronen hervorgerufen werden, sind die bestehenden Magnetfeldsensoren bei Raumtemperatur nicht sensitiv genug oder besitzen nicht die benötigte Ortsauflösung.

Zwei komplementäre Systeme

Das QMag-Konsortium hat sich zum Ziel gesetzt, die Quantenmagnetometrie aus dem Labor in die Anwendung zu bringen und in der Industrie nutzbar zu machen. Dafür entwickeln die Fraunhofer-Institute zwei komplementäre Magnetometer, die kleinste magnetische Felder und Ströme mit höchster räumlicher Auflösung beziehungsweise höchster magnetischer Empfindlichkeit bei Raumtemperatur messen können.

Konkret verfolgen die Projektpartner die Demonstration und Testung von zwei Systemen, die auf den gleichen physikalischen Messprinzipien und -methoden beruhen, jedoch unterschiedliche Anwendungen ansteuern: Zum einen soll ein bildgebendes Rastersonden-Quantenmagnetometer auf Basis von NV-Zentren in Diamant präziseste Messungen von nanoelektronischen Schaltungen ermöglichen. Zum anderen werden Mess-Systeme auf Basis von höchstsensitiven optisch gepumpten Magnetometern («OPMs») für Anwendungen in der Materialprüfung und Prozessanalytik realisiert.

Nanoskalige Magnetometrie auf Basis von NV-Zentren

Ein Rastersonden-Quantenmagnetometer kann Magnetfelder mit höchster räumlicher Auflösung bei Raumtemperatur messen. Dabei werden einzelne atomare Fehlstellenkomplexe in Diamantkristallen zur Realisierung kleinstmöglicher Tastmagnete genutzt. Als zentrales Element fungiert ein Stickstoff-Vakanz-Zentrum («NV-Zentrum») in Diamant. Ein NV-Zentrum entsteht, wenn in Diamant zwei benachbarte Kohlenstoff-Atome entfernt werden und eines durch ein Stickstoffatom ersetzt wird, wodurch in die Leerstelle des anderen das überschüssige Elektron des Stickstoffatoms hineinfällt. Dieses Elektron besitzt ein magnetisches Moment, welches nach seiner Orientierung als Tastmagnet für das nachzuweisende magnetische Feld genutzt werden kann.

PRESSEINFORMATION

01.April 2019 || Seite 2 | 6

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR ANGEWANDTE FESTKÖRPERPHYSIK IAF

Im Rahmen von QMag wird in der nanoskaligen Spitze eines Messkopfs aus Diamant ein NV-Zentrum platziert. Wird diese Sensorspitze in einem Rastersondenmikroskop über eine Probe bewegt, können lokale Magnetfelder mit sehr hoher räumlicher Auflösung bildgebend dargestellt werden. So kann die Stromverteilung in nanoelektronischen Schaltungen sichtbar gemacht werden, da jeder noch so kleine elektrische Strom ein Magnetfeld erzeugt, das mit Hilfe der Quantenmagnetometer sichtbar gemacht wird.

»Unser Ziel ist es, Quantenmagnetometer zu entwickeln, die aufgrund ihrer herausragenden sensorischen Eigenschaften, ihrer kompakten Bauweise und ihrer Betriebsweise neuartige industrielle Applikationen ermöglichen und insbesondere die Entwicklung von komplexen elektronischen Systemen erleichtern werden«, sagt Prof. Dr. Oliver Ambacher, Projektkoordinator und Institutsleiter des Fraunhofer IAF.

OPMs für die chemische Analytik und Materialprüfung

Das zweite in QMag verfolgte Sensorsystem nutzt die Magnetfeldabhängigkeit elektronischer Übergänge in Alkali-Atomen: Optisch gepumpte Magnetometer («OPMs») sind eine Klasse von Sensoren, die zur Messung extrem schwacher Magnetfelder eingesetzt werden. Ebenso wie NV-Zentren brauchen OPMs keine extreme Kühlung und eignen sich damit für den industriellen Einsatz. Der Schwerpunkt der Forschungsarbeiten in QMag liegt auf der Entwicklung kompletter Mess-Systeme auf der Basis verfügbarer Magnetometer-Prototypen.

In OPMs werden die Alkali-Atome in der Gasphase mit Hilfe eines zirkular polarisierten Laserstrahls so präpariert, dass ihre magnetischen Momente alle die gleiche Orientierung haben. Im zu messenden Magnetfeld erfahren die magnetischen Momente dann eine synchrone Kreiselbewegung, die über die Absorption eines Laserstrahls geeigneter Wellenlänge messbar ist. Die Messung kann mit so hoher Genauigkeit durchgeführt werden, dass sogar noch Magnetfelder bis hinunter zu Femto-Tesla detektierbar sind – etwa so klein sind die Felder, die menschliche Hirnströme beim Denken erzeugen. Dank ihrer Empfindlichkeit können OPMs auch als Detektoren für kernmagnetische Resonanzsignale («nuclear magnetic resonance» – NMR) eingesetzt werden. »Aufbauend auf den verfügbaren Einzelsensor-Prototypen entwickeln wir in QMag komplette Mess-Systeme, mit denen neue Anwendungsszenarien vor allem im Bereich der Niederfeld-NMR für die chemische Analytik und für Materialuntersuchungen erschlossen werden«, erklärt Prof. Dr. Karsten Buse, Institutsleiter des Fraunhofer IPM.

Ebenso sollen Demonstratoren für Schlüsselanwendungen aus der Werkstoffmechanik realisiert werden. Die magnetische Detektion mechanischer Mikrorisse ist als hoch empfindliches Werkzeug der Werkstoffcharakterisierung und Bauteilprüfung ein hoch relevantes Anwendungsfeld. »Durch ihre hohe Empfindlichkeit auch bei niedrigen Frequenzen und bei Raumtemperatur eröffnen OPM-Sensoren ganz neue Anwendungsmöglichkeiten für die Werkstoffprüfung. So können mikroskopische

PRESSEINFORMATION

01.April 2019 || Seite 3 | 6

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR ANGEWANDTE FESTKÖRPERPHYSIK IAF

Werkstoffdefekte anhand von magnetischen Streufeldsignalen zerstörungsfrei gemessen werden«, hebt Prof. Dr. Peter Gumbsch, Institutsleiter des Fraunhofer IWM hervor.

PRESSEINFORMATION

01. April 2019 || Seite 4 | 6

Neben dem Kernteam steuern drei weitere Fraunhofer-Institute ihre wissenschaftlichen und technologischen Kompetenzen für die Entwicklung der quantentechnologischen Kernkomponenten bei. Komplettiert wird das Konsortium durch die akademische Expertise von Prof. Dr. Jörg Wrachtrup (Universität Stuttgart) auf dem Gebiet der diamantbasierten Quantentechnologien sowie von Prof. Dr. Svenja Knappe (Universität Freiburg in Kooperation mit der University of Colorado Boulder) auf dem Gebiet der Atomgasmagnetometrie.

Die Projektpartner und ihre Aufgaben

Das **Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik IAF** entwickelt ein bildgebendes Rastersonden-Quantenmagnetometer auf Basis von NV-Zentren in Diamant, das Magnetfelder mit höchster räumlicher Auflösung und magnetischer Empfindlichkeit bei Raumtemperatur messen wird.

Das **Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM** koordiniert die Entwicklung von OPM-Mess-Systemen, mit denen neue Anwendungen vor allem im Bereich der Niederfeld-NMR für die Prozessanalytik und Werkstoffprüfung erschlossen werden.

Das **Fraunhofer-Institut für Werkstoffmechanik IWM** unterstützt mit theoretischen Modellen und Methoden die experimentellen Anstrengungen der Projektpartner dabei, Quantenmagnetometer mit neuartigen Funktionalitäten zu realisieren.

Das **Fraunhofer-Institut für Mikrotechnik und Mikrosysteme IMM** ist verantwortlich für die Herstellung und Charakterisierung magnetischer Nanopartikel, die an NV-haltigen Diamantspitzen angebracht als Verstärker für die angestrebten Quantenmagnetometer fungieren sollen.

Das **Fraunhofer-Institut für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie IISB** ist zuständig für die Erzeugung von NV-Zentren in Diamant durch die Schaffung von Kohlenstoffvakanzten und Einbringung von Stickstoff-Atomen.

Das **Fraunhofer Centre for Applied Photonics CAP** entwickelt Diamantmikrooptiken und Wellenleiter, welche sich dazu eignen, NV-Zentren zu adressieren und nutzt optische Charakterisierungsmethoden zur Bewertung der Eignung von NV-Zentren für die Magnetometrie.

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR ANGEWANDTE FESTKÖRPERPHYSIK IAF

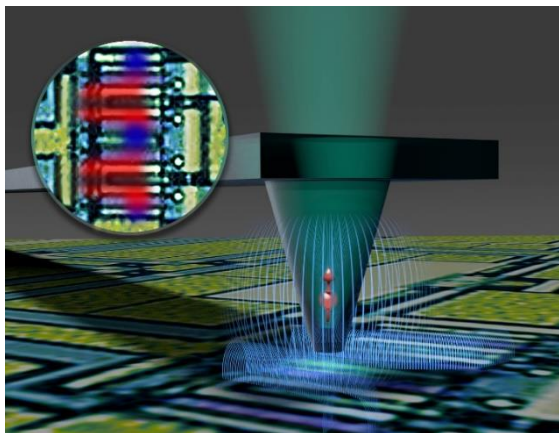
Bildmaterial:

PRESSEINFORMATION

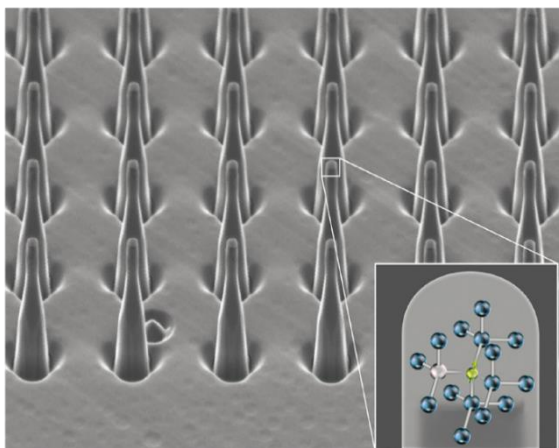
01.April 2019 || Seite 5 | 6



Am 1. April startet die Fraunhofer-Gesellschaft das Leitprojekt »QMag« mit dem Ziel Quantenmagnetometer für konkrete industrielle Anwendungen zu entwickeln.
© Fraunhofer IAF



Schematische Darstellung eines Rastersonden-Quantenmagnetometers mit einer NV-Diamantspitze, die Ströme einer nanoelektronischen Schaltung bildgebend nachweist.
© Fraunhofer IAF



Strukturierte einkristalline Diamantspitzen. Grafik: Atomare Struktur eines NV-Zentrums in Diamant.
© Fraunhofer IAF

PRESSEINFORMATION

01. April 2019 || Seite 6 | 6

Die **Fraunhofer-Gesellschaft** ist die führende Organisation für angewandte Forschung in Europa. Unter ihrem Dach arbeiten 72 Institute und Forschungseinrichtungen an Standorten in ganz Deutschland. Mehr als 26 600 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter erzielen das jährliche Forschungsvolumen von mehr als 2,5 Milliarden Euro. Davon fallen mehr als 2,1 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Rund 70 Prozent dieses Leistungsbereichs erwirtschaftet die Fraunhofer-Gesellschaft mit Aufträgen aus der Industrie und mit öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Internationale Kooperationen mit exzellenten Forschungspartnern und innovativen Unternehmen weltweit sorgen für einen direkten Zugang zu den wichtigsten gegenwärtigen und zukünftigen Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen.