

## Projekt

Koordinator:

## Integrierte Diamant-Ionen-Fallen (IDEAL)

Dr. Eckhard Wörner  
Diamond Materials GmbH  
Hans-Bunte-Str. 19  
79108 Freiburg im Breisgau  
Tel.: 0761 600-6553  
E-Mail: christoph.wild@diamond-materials.de

Projektvolumen:

3,1 Mio. € (Förderquote 68,2%)

Projektlaufzeit:

01.03.2019 – 28.02.2022

Projektpartner:

- Diamond Materials GmbH
- NANEQ Precision IBS Coatings GmbH, Lindau
- Grintech GmbH, Jena
- Dausinger & Giesen, Stuttgart
- Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig
- Leibniz Universität, Hannover

## Die technische Grundlage für die Erschließung quantenphysikalischer Anwendungen

Die Erforschung neuer Quantentechnologien erfährt derzeit weltweit einen beträchtlichen Aufschwung. Dieser wird vor allem von den Erwartungen an die Leistungsfähigkeit des Quantencomputers gestützt. Doch auch andere Quantentechnologien versprechen erhebliche Fortschritte in den Bereichen Messtechnik, Sensorik, Medizintechnik oder Biotechnologie.

Die vielversprechendsten Anwendungen der Quantentechnologien sind jedoch kurzfristig nicht praktisch umzusetzen. Es fehlt hierfür die erforderliche Gerätetechnik, die in großen Teilen erst entwickelt werden muss. Die genutzten Quantenphänomene reagieren sehr empfindlich auf äußere Einflüsse und sind daher sehr kurzlebig. Ihre Bereitstellung und Kontrolle ist mit einem beträchtlichen apparativen Aufwand verbunden. Selbst dort, wo man bereits grundlegende Funktionen nachweisen konnte, ist die technische Beherrschung der Quantensysteme noch viel zu kostspielig und zu wenig robust für eine praktische Nutzung. Es gilt daher, in enger Zusammenarbeit zwischen den Herstellern der technischen Ausrüstungen und den Forschern in den Labors neue Geräte für den Einsatz in den Quantentechnologien zu entwickeln. Stabile und kostengünstige Systeme sollen die Aussichten auf eine erfolgreiche wirtschaftliche Nutzung der Quanteneffekte erheblich verbessern. Eine wesentliche Zielstellung der geförderten Projekte liegt darin, einheimische Unternehmen dabei zu unterstützen, sich als weltweit führende Ausrüster für Forschung und Entwicklung zu etablieren.



Bild 1: Die apparative Beherrschung von Quantenphänomenen für neue Anwendungen ist derzeit noch sehr kostenintensiv und benötigt hochqualifiziertes Personal. (Quelle: iStock.com/Maartje van Caspel)

## Hardware für Quantencomputer

Die technischen Plattformen für Quantencomputer unterscheiden sich im Hinblick auf ihre physikalischen Grundelemente sehr stark. Es gibt Konzepte für supraleitende Schaltkreise, künstliche Atome in Festkörpersubstraten sowie lasergekühlte Ionen oder Atome in miniaturisierten Fallen. Für den Sprung vom Forschungslabor zur Anwendbarkeit müssen diese Konzepte auf ein solides technisches Fundament gestellt werden. Als ein Zwischenschritt auf diesem Weg sind verbesserte Technologien für Forschungsinstitute anzusehen. Bislang sind die dort zur Anwendung kommenden Aufbauten überwiegend Einzelstücke, die von den Forschern komplett selbst aufgebaut werden. Um jedoch die Eigenschaften der Quantensysteme besser zu verstehen, wäre es nützlich, weniger Zeit in die sehr aufwändige technische Aufbauarbeit investieren zu müssen und sich länger mit der eigentlichen Untersuchung der besonderen Eigenschaften der Quantensysteme und deren Weiterentwicklung befassen zu können.

Das vorliegende Projekt verfolgt die Absicht, speziell für Quantensysteme bestehend aus gefangenen Ionen wesentlich verbesserte Ionenfallen kommerziell anbieten zu können. So bleibt den Forschergruppen eine eigene Aufbauarbeit weitgehend erspart und es steht gleichzeitig ein höheres Maß an Zuverlässigkeit, Stabilität und eine einfachere Bedienbarkeit zur Verfügung, als dies bei Eigenbauten typischerweise der Fall ist. Im Idealfall könnten solche mikrointegrierten Ionenfallen sogar zu industriell nutzbaren Systemen weiterentwickelt werden.

## Herstellungstechnologie für integrierte Ionenfallen

Als geeignetes Material für Ionenfallen hat sich reiner Diamant erwiesen. Dieser erlaubt es, die erforderlichen elektromagnetischen Hochfrequenzfelder zur Kontrolle der Ionen mit minimalen Verlusten zu übertragen. Er verfügt außerdem über eine sehr gute Wärmeleitfähigkeit, was das Aufheizen der Ionenfalle und damit verbundenes thermisches Rauschen minimiert. Darüber hinaus ist Diamant transparent, was die optische Kontrolle und Adressierung der gespeicherten Ionen mittels Laser erleichtert. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass für Diamant bereits eine gut verwendbare Bearbeitungsmethode in Form der Ultrakurzpuls-Lasermaterialbearbeitung existiert. Mit diesem Verfahren wurden bereits Ionenfallen gefertigt. Um jedoch eine mikrointegrierte Falle herstellen zu können, müssen sowohl das Laser-Bearbeitungsverfahren als auch die integrierten optischen Komponenten weiterentwickelt werden.

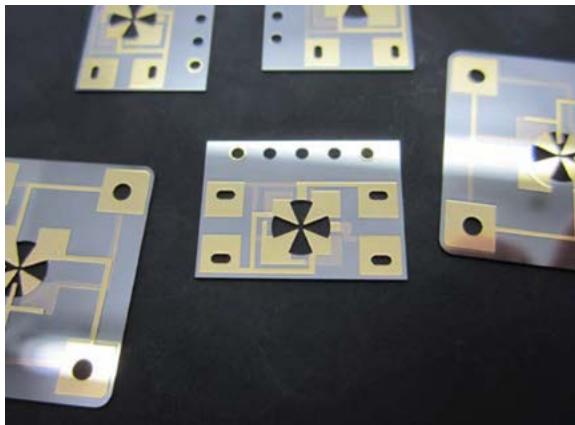


Bild 2: Diamant-Ionenfalle im sogenannten „Wheel-Trap“-Design (Quelle: Diamond Materials)

Insbesondere die Verkleinerung der Strukturen und die höheren Anforderungen an die Strukturgenauigkeit erfordert auch kleinere Laserwellenlängen, was den technischen Aufwand beträchtlich erhöht. Um die geforderte Mikrometerpräzision zu erreichen, ist der Einsatz eines Ultraviolettkurzpulslasers erforderlich, der zunächst entwickelt werden muss. Ebenfalls neu entwickelt werden müssen spezielle leitfähige Schichten der verwendeten Mikrooptiken, die ein elektrisches Aufladen im Betrieb verhindern.

Im Erfolgsfall sollen sowohl die Diamantfalle als Basis für den nachfolgenden Aufbau jeweils den eigenen Bedürfnissen angepasster Systeme durch den Anwender kommerziell zur Verfügung gestellt, als auch komplette, voll funktionsfähige Systeme zum Kauf angeboten werden.