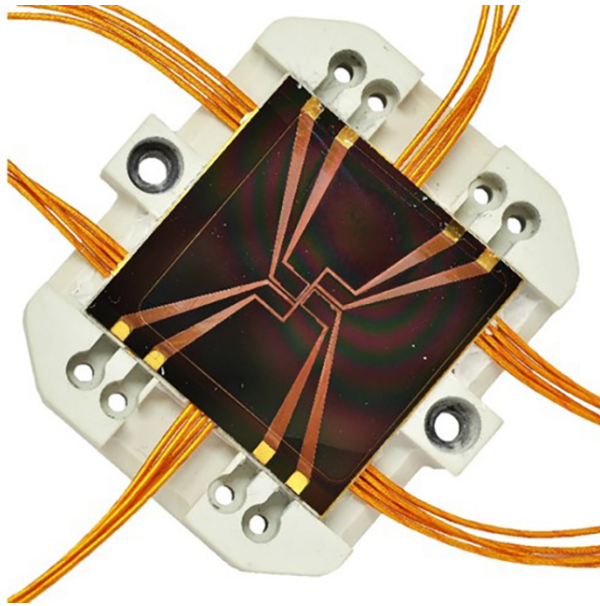


Forscher aus Hannover entwickeln miniaturisierte Quantengravimeter



Auf einen Blick

- Hochpräzise Bestimmung der Fallbeschleunigung g
- Untersuchung des Klimawandels
- Erforschung von Bodenschätzen
- Frühwarnsysteme
- Navigationssysteme

15. 2021

IMPT/IQ | Um die Erdbeschleunigung g hochpräzise zu messen, entwickeln Wissenschaftler miniaturisierte Quantengravimeter. Diese könnten auf Satelliten und in Forschungsraketen, zur Untersuchung des Klimawandels oder zur Erdbebenwarnung zum Einsatz kommen.

Die Gravimetrie ermöglicht die Vermessung des Schwerefelds der Erde und liefert somit wichtige Informationen sowohl für die Geowissenschaften als auch für kommerzielle und industrielle Anwendungsgebiete.

Die Schwerkraft als Informationsquelle

In der Geologie wird die Gravimetrie zum Beispiel genutzt, um unterirdische Dichteanomalien zu identifizieren. Die Geodäsie definiert mit ihrer Hilfe Referenzflächen für nationale Höhenbezugssysteme. Frühwarnsysteme im Bereich der Erdbebenwarnung und der Vulkanologie zählen ebenso zu den Anwendungsgebieten wie die Klimaforschung, die sich mit der Massenverteilung der Erde, mit Meeresströmungen und dem Grundwasserspiegel in Folge des Klimawandels befasst. Die industriellen und kommerziellen Anwendungen beinhalten unter anderem die Erkundung von Bodenschätzen und den Tiefbau.

Die Bezugsfläche im Schwerefeld der Erde ist das sogenannte Geoid. Zwei beliebige Punkte auf dem Geoid haben das gleiche Schwerepotential und damit die gleiche dynamische Höhe. Aber im Gegensatz zum Schwerepotential ist die Erdbeschleunigung g auf dem Geoid nicht konstant. Für die Bestimmung von g wird daher eine hochpräzise und idealerweise kalibrierungsfreie Methode für kontinuierliche Messungen benötigt.

Entwicklung miniaturisierter Quantengravimeter

Wissenschaftler des Instituts für Mikroproduktionstechnik (IMPT) und des Instituts für Quantenoptik (IQ) der Leibniz Universität Hannover entwickeln Atomchips als Bestandteil von magneto-optischen Fallen für kompakte Quantengravimeter. Ihr Ziel ist die Messung von g mit absoluter Gravimetrie. Diese Quantengravimeter machen sich die Welleneigenschaften von Atomen zunutze. Das Funktionsprinzip basiert dabei auf der Untersuchung des freien Falls von Atomen im Ultrahochvakuum. Im Gegensatz zu klassischen Interferometern ist dieser Fall reibungslos und benötigt keine komplexe Mechanik, die regelmäßiger Wartung und Kalibrierung bedarf. Laserimpulse, die von einer Kamera detektiert werden, dienen zur Positionsbestimmung während des freien Falls. Die Genauigkeit ist jedoch durch Wellenfronteffekte begrenzt, da heutzutage "nur" lasergekühlte Atome verwendet werden. Deswegen sollen Bose-Einstein-Kondensate als Quelle für die Quantengravimeter genutzt werden, um eine verbesserte Drift- und Genauigkeitsleistung und eine Reduktion von Wellenfronteffekten zu erreichen.

Fertigungstechnische Herausforderung

Der Schwerpunkt des IMPT liegt auf der Miniaturisierung und Weiterentwicklung von Atomchips als Quelle von Bose-Einstein-Kondensaten – mit dem Ziel, ein transportables Quantengravimeter zu realisieren, welches sich für den Einsatz im Feld oder an Bord von Flugzeugen, Höhenforschungsraketen oder Satelliten eignet.

Dies stellt eine fertigungstechnische Herausforderung hinsichtlich der Integration der Chips und deren Zuverlässigkeit dar. Darüber hinaus wird ein optischer Zugang zur Chipoberfläche für die Laserinterferometrie und die Laserkühlung benötigt, um eine magneto-optische Falle zu realisieren.

Insbesondere der Einsatz auf Satelliten und Forschungsraketen erfordert eine Begrenzung der Masse und des Volumens der Nutzlast. Durch die Verwendung von optischen Gittern wird die Aufteilungsoptik hinter den Lasern und das Heranführen des Lichts an die Atome vereinfacht. Anstatt das Licht auf vier Wege aufzuteilen und zueinander und auf die Atome justieren zu müssen, bleibt lediglich ein Strahl übrig, welcher auf die Atome justiert werden muss.

Da der Betrieb unter Ultrahochvakuum-Bedingungen erfolgt, sollen vorrangig nicht-adhäsive Verbindungstechniken zum Einsatz kommen. Sowohl die Fertigung der Atomchips als auch die mikrotechnologische Integration solcher optischen Gitter in die Atomchip-Oberfläche erfordern daher einen Verzicht auf jegliche Klebstoffe. Neben einer Verbesserung der Vakuumqualität kann die Pumpenleistung und damit die Nutzlast weiter reduziert werden.

Zukunftsvision: „Lab in a chip“

Diese mikrotechnologischen Systeme werden derzeit noch in rein makroskopischen Aufbauten eingesetzt. Daher wollen die Wissenschaftler am IMPT im nächsten Schritt die Messumgebung miniaturisieren. Zu den Forschungsschwerpunkten zählen dabei die Realisierung von kompakten Ultrahochvakuum-Systemen einschließlich geeigneter Füge- und Integrationstechniken, miniaturisierten Atomquellen sowie Pump- und

Messsystemen. Ein vielversprechendes Konzept ist dabei die Verwendung von sogenannten nicht-verdampfenden Gettermaterialien (NEG), deren Grundlage die Oberflächensorption von Gasmolekülen darstellt. Das Einsatzszenario liegt dabei in der Beschichtung der Innenwände des Messsystems mit dem Ziel der Reduzierung und Aufrechterhaltung des Kammerdrucks. Dies ist ein Bestandteil von aktuellen Forschungsarbeiten an IMPT und IQ mit dem Ziel des Übergangs vom „Chip in Lab“ hin zum „Lab in a Chip“-Konzept.

von Alexander Kassner und Dr.-Ing. Marc Christopher Wurz

E-Mail: kassner@impt.uni-hannover.de

Tel.: (0511) 762-18025

Webseite: www.impt.uni-hannover.de