

FORSCHUNG KOMPAKT

Juli 2017 || Seite 1 | 4

Oberflächentechnik

Maßarbeit: Defektfreie Schichten für Siliziumkugeln

Das Ur-Kilogramm, auf das alle Waagen kalibriert sind, verliert an Gewicht. Internationale Bemühungen streben an, die Basiseinheit der Masse neu zu definieren und künftig auf Naturkonstanten zu beziehen. Hierfür wird im sogenannten Avogadro-Experiment bestimmt, wie viele Atome in nahezu perfekten Siliziumkugeln enthalten sind. Fraunhofer-Forschern ist die homogene Beschichtung der Kugeloberfläche gelungen – unter anderem lässt sich dadurch die Messunsicherheit auf einen Bereich unter zehn Mikrogramm begrenzen.

Ein Kilo ist nicht mehr 1000 Gramm schwer. Denn das Maß der Gewichte, das Ur-Kilogramm, wird immer leichter. Die Ursache dafür ist unbekannt. Um von dem Zylinder, der in Paris in einem Tresor gelagert wird, unabhängig zu werden, suchen Forscher weltweit nach Alternativen. Geplant ist, das Kilogramm neu zu definieren. Künftig soll eine physikalische Konstante das materielle Kilogramm ersetzen.

Um dies zu realisieren, führt ein Team der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) Experimente mit Kugeln aus isotopenangereichertem Silizium durch, die als neuer Kalibrierstandard verwendet werden könnten. Dabei bestimmen die Experten die Avogadro-Konstante, die die Anzahl der Atome in einem Mol angibt. »Wir errechnen die Anzahl der Atome in einer Kugel und erhalten über mathematische Gleichungen die Zahl der Atome pro Mol. Vereinfacht gesagt finden wir heraus, was ein Silizium-Atom wiegt und können im Umkehrschluss berechnen, wieviel Silizium-Atome für ein Kilogramm erforderlich sind«, erläutert Dr. Ingo Busch, Physiker an der PTB in Braunschweig. »Das Mol ist der Mittler zwischen der atomaren Massenskala und dem Kilogramm.«

Beim Herstellen der Kugeln, was ebenfalls an der PTB erfolgt, bildet sich eine natürliche Oxidschicht aus Siliziumdioxid, SiO_2 . Diese hat ebenfalls Einfluss auf Masse und Volumen der Siliziumkugeln. Das Problem: Die native Schicht wächst langsam und zum Teil ungleichmäßig. Dadurch lässt sich das tatsächliche Gewicht sowohl der Oxidschicht als auch der Kugel sehr schwer messen. Gefragt ist daher eine alternative, homogene Beschichtung, um Messunsicherheiten zu verringern und Volumen und Masse der Kugel präzise bestimmen zu können.

Kontakt

Janis Eitner | Fraunhofer-Gesellschaft, München | Kommunikation | Telefon +49 89 1205-1333 | presse@zv.fraunhofer.de

Dr. Simone Kondruweit | Fraunhofer-Institut für Schicht- und Oberflächentechnik IST | Telefon +49 531 2155-535 |

Bienroder Weg 54 E | 38108 Braunschweig | www.ist.fraunhofer.de | simone.konduweit@ist.fraunhofer.de

Alternative SiO₂-Schicht minimiert Messunsicherheiten

FORSCHUNG KOMPAKT

Juli 2017 || Seite 2 | 4

Forschern des benachbarten Fraunhofer-Instituts für Schicht- und Oberflächentechnik IST ist es gelungen, eine Siliziumkugel mit einer solchen alternativen SiO₂-Oberfläche zu beschichten, deren Beschaffenheit höchsten Anforderungen genügt. »Mit unserem Verfahren können wir eine SiO₂-Schicht mit definierter Rauheit und einstellbarer Schichtdicke auf die Kugel aufbringen. Die Schicht ist darüber hinaus stöchiometrisch. Dies bedeutet, dass das Verhältnis der einzelnen Atome untereinander beziehungsweise das Verhältnis zwischen Silizium und Sauerstoff konstant ist«, sagt Tobias Graumann, Wissenschaftler am IST.

Als Beschichtungsverfahren wählten die IST-Forscher die Atomlagenabscheidung ALD, kurz für Atomic Layer Deposition (siehe Kasten »Atomlagenabscheidung ALD«). Der Vorteil der Methode: Eine reproduzierbare, extrem dünne Oxidschicht mit homogener Dicke kann auf der Kugel aufgebracht werden. Potentielle Verunreinigungen wie Kohlenstoff oder Stickstoff liegen unterhalb der Nachweisgrenze. Die Rauheit der Schichten bleibt unter einem Nanometer. »Die Rauheit der Kugel wird durch die Beschichtung nicht nennenswert erhöht. Dies ist ein Faktor, damit die Messunsicherheit 10 Mikrogramm nicht überschreitet. Ein Fingerabdruck wiegt bereits mehr«, sagt Graumann. Auch der Zeitfaktor spielt eine wichtige Rolle. Der Fertigungsprozess der Kugeln lässt sich durch den Auftrag der alternativen SiO₂-Oberfläche beschleunigen, da das Wachstum der nativen Oxidschicht mehrere Monate dauert.

In Reinraumatmosfera beschichten

Die am Institut installierte ALD-Beschichtungsanlage wurde eigens für das Projekt aufwändig angepasst und vorbereitet, so dass alle Arbeiten zur Beschichtung in Reinraumatmosfera stattfinden konnten. Der Fokus der jahrelangen Forschungsarbeiten lag unter anderem auf der Halterung der Siliziumkugel im Reaktor. Da die Kugel vollflächig beschichtet werden muss, haben sich die Forscher für eine Dreipunktauflage entschieden, sprich das Messobjekt liegt an drei Punkten auf. »Hier machen wir uns die Wirkungsweise der ALD zunutze: Die gasförmigen Chemikalien diffundieren idealerweise zwischen Kugel und den drei Kontaktflächen der Halterung, die somit ebenfalls beschichtet werden«, so der Forscher.

Die Beschichtungen der Siliziumkugel sind beendet, aktuell finden die Messungen an der PTB statt. Die Ergebnisse sollen diesen Sommer vorliegen und auf der Konferenz für Maß und Gewicht im Herbst 2018 vorgestellt werden. Spätestens dann soll das Urkilogramm als Standard abgelöst werden. Auf dem metrologischen Treffen wird über die Neudefinition des Kilos entschieden.

Die Forscher vom Fraunhofer IST und ihre Kollegen von der PTB hoffen, dass sich die Siliziumkugeln als neuer Kalibrierstandard durchsetzen werden. Metrologieinstitute und

Kalibrierlaboratorien sollen künftig die Möglichkeit erhalten, Kopien der Kugeln zu erwerben. Die PTB will drei preislich und qualitativ unterschiedliche Varianten anbieten.

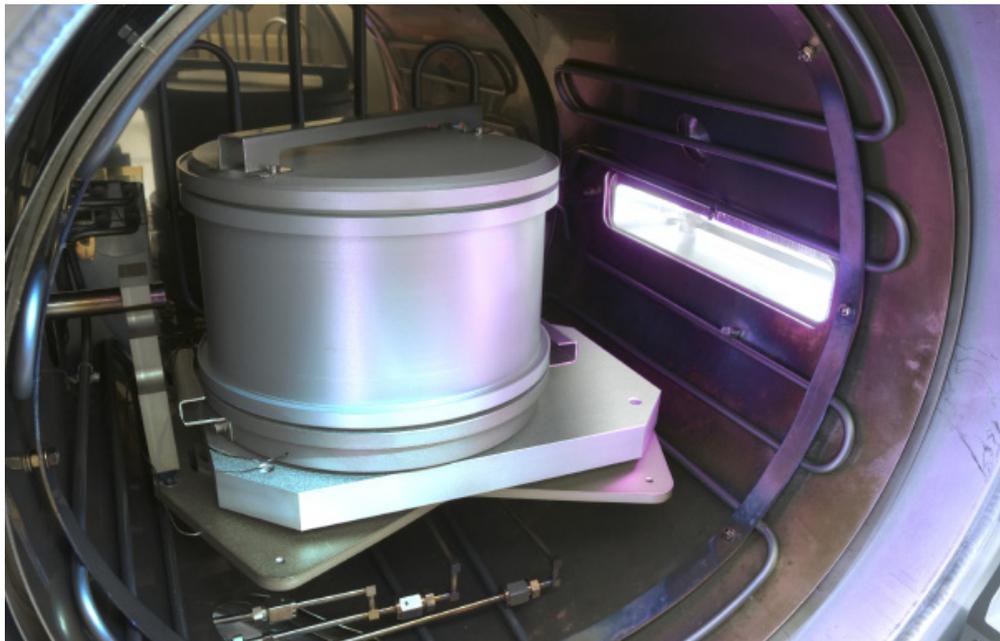
Die am Fraunhofer IST entwickelten SiO₂-Schichten lassen sich nicht nur auf Kugelsysteme, sondern auf beliebig komplex strukturierte Oberflächen aufbringen. Die Einsatzbereiche sind vielfältig und reichen von optischen Anwendungen über den Halbleiter- und Elektronikbereich bis hin zur Photovoltaik.

Atomlagenabscheidung ALD

Will man einzelne Atomlagen mit extremer Präzision auf ein Trägermaterial aufbringen, ist die Atomic Layer Deposition (ALD) das Mittel der Wahl. Die Beschichtung wird schrittweise aufgetragen, die Schichten werden quasi auf der Oberfläche gestapelt. Der Prozess ist langwierig, zahlreiche Beschichtungszyklen sind erforderlich.

Beschichtungsprozess am Fraunhofer IST

Die Schichtbildung erfolgt über die chemische Reaktion zweier Ausgangsstoffe, die nacheinander in die Reaktionskammer eingelassen werden. Diesem Prinzip folgt auch der Beschichtungsprozess am Fraunhofer IST: Um die SiO₂-Schicht (siehe Text) zu erzeugen, verwenden Tobias Graumann und sein Team im einfachsten Fall zwei Chemikalien, die in getrennten Schritten in Gasform in die Beschichtungskammer gegeben werden. Es kommt zu zwei aufeinanderfolgenden, sich begrenzenden Oberflächenreaktionen. Im ersten Schritt wird die Oberfläche in der Kammer reaktiven Molekülen in der Gasphase ausgesetzt. Beim Reagieren mit der Oberfläche bildet sich zunächst nur ein Zwischenprodukt – eine erste Monolage. Die überschüssigen Moleküle und entstandenen Nebenprodukte spülen die Forscher mit Stickstoff aus der Kammer – so lässt sich eine Überdosierung vermeiden, die Reaktionen werden voneinander getrennt. Die zweite Chemikalie wird in die Kammer eingelassen und reagiert mit dem Zwischenprodukt. Dabei bleibt das gewünschte Beschichtungsprodukt auf der Oberfläche zurück. Ist diese Reaktion auf der ganzen Oberfläche erfolgt, können weitere Chemikalien nicht mehr an der chemisch gesättigten Oberfläche anhaften. Experten sprechen daher von einem selbst kontrollierten, leicht steuerbaren Wachstum, das die ALD auszeichnet. Dieser Reaktionszyklus kann beliebig oft wiederholt werden, um so die gewünschte Schichtdicke einzustellen.



FORSCHUNG KOMPAKT

Juli 2017 || Seite 4 | 4

Im Innern der ALD-Beschichtungsanlage am Fraunhofer IST: die Beschichtungskammer für dreidimensionale Objekte. © Fraunhofer IST | Bild in Farbe und Druckqualität: www.fraunhofer.de/presse.



Die zu beschichtende Siliziumkugel muss wie ein rohes Ei behandelt werden. Rechts im Bild: eine der Dreipunktauflagen. © Fraunhofer IST | Bild in Farbe und Druckqualität: www.fraunhofer.de/presse.

Die **Fraunhofer-Gesellschaft** ist die führende Organisation für angewandte Forschung in Europa. Unter ihrem Dach arbeiten 69 Institute und Forschungseinrichtungen an Standorten in ganz Deutschland. 24 500 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter erzielen das jährliche Forschungsvolumen von 2,1 Milliarden Euro. Davon fallen 1,9 Milliarden Euro auf den Leistungsbereich Vertragsforschung. Über 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.