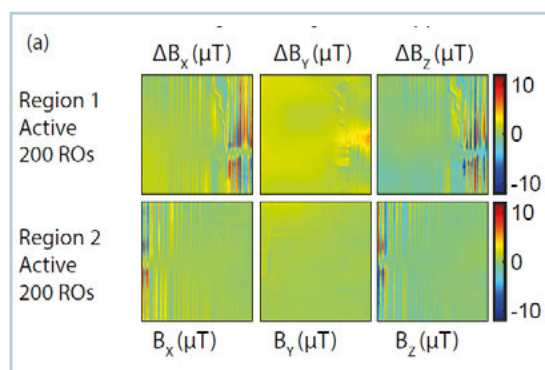


Quanten-Diamant-Mikroskop Teil 2 – Imaging von elektrischen Strömen

In der letzten Ausgabe haben wir das Quanten-Diamant-Mikroskop (QDM) vorgestellt. Dabei handelt es sich um ein neuartiges System zur gleichzeitigen Messung von Magnetfeldvektor und Magnetfeldstärke über einen großen Sichtbereich. Das QDM nutzt eine dichte Schicht fluoreszierender Stickstoffleerstellen (NV-Zentren) nahe der Oberfläche eines transparenten Diamantsubstrats. Dieses wird auf die Probe gelegt, um die Magnetfelder abzubilden. Die großflächige magnetische Bildgebung ermöglicht neue Anwendungen, von denen eine hier vorgestellt werden soll. Jeder Strom erzeugt ein magnetisches Feld und umgekehrt. Es ist

daher naheliegend, QDM zur Abbildung von Strömen in elektrischen Bauteilen zu verwenden. Die Verteilung der Stromdichten in aktiven integrierten Schaltungen (ICs) liefert Informationen über die Struktur und Funktion der Schaltung. Die magnetischen Felder durchdringen die in der Halbleiterindustrie üblichen Materialien und bieten somit eine effektive Möglichkeit, das Betriebsverhalten eines ICs zu analysieren. Die Magnetfelder ändern sich in Abhängigkeit vom Betriebszustand. Die magnetische Bild-



gebung kann Informationen über die Struktur und das Verhalten des Schaltkreises liefern, die zur Prüfung und Fehlersuche verwendet werden können. Mit dem QDM lassen sich magnetische Felder von ICs unter Betriebsbedingungen abbilden.

» Seite 2

Ozon-Oberflächenreinigung mit dem Hitachi ZoneSEM und Hitachi ZoneTEM

Mit dem ZoneSEM und dem ZoneTEM bietet unser Partner Hitachi Lösungen für die Elektronenmikroskopie an, um Substratoberflächen schnell und effizient von Verunreinigungen durch kohlenstoffhaltige Spezies zu befreien.

Ein häufiges Problem in der Elektronenmikroskopie stellen Adsorptionen durch organische Verbindungen auf Substratoberflächen dar. Typischerweise führt die Exposition von Proben bei der Präparation, der Lagerung oder dem Transfer ins Elektronenmikroskop zu einer Kontamina-

tion durch entsprechende Moleküle. Auch die Atmosphäre in einer Mikroskopkammer trägt zur Verunreinigung von Oberflächen bei. Während des Rastervorgangs aktiviert der Elektronenstrahl die Adsorbate, sodass diese sich untereinander zu Polymermolekülen vernetzen. Die Substratoberfläche erfährt somit während des fortschreitenden Rasterprozesses eine kontinuierliche Bedeckung im Messbereich. Dadurch wird die Beobachtbarkeit der eigentlichen Oberflächenstruktur im Elektronenmikroskop oftmals stark eingeschränkt.

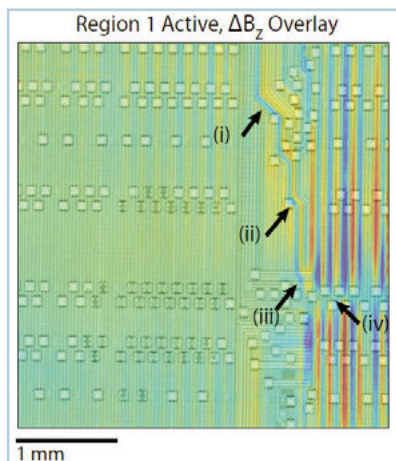
» Seite 3

Inhalt

Elektronenmikroskopie	1, 4, 8, 11
Imaging	5, 8
Kryotechnologie	6, 11
Magnetismus	5
Materialwissenschaften	1, 7
Optiken	8, 12
Über uns	3

Quanten-Diamant-Mikroskop Teil 2 – Imaging von elektrischen Strömen

» Edlyn V. Levine (Harvard University) hat zusammen mit Amir Yacoby, Marko Loncar und weiteren Kollegen gezeigt, wie sich Informationen über Funktion und Zustand des ICs



aus der Feldverteilung ableiten lassen [1]. Abbildung 1 zeigt die Feldverteilung in X, Y und Z Richtung für zwei unterschiedliche Bereiche eines Field Programmable Gate Arrays (FPGA). Jeder Bereich enthält ein Cluster aus 200 Ringoszillatoren (ROs). Die Ströme, die durch die vertikalen Leiterbahnen am rechten Bildrand fließen, sind deutlich zu erkennen. In Abbildung 2 ist das gemessene Magnetfeld über einem Bild der Schaltung grafisch dargestellt.

Die Gruppe nutzte Techniken des maschinellen Lernens, um Betriebszustände sowohl von entkapselten als auch von intakten FPGAs anhand der Korrelation von Magnetfeldmustern zu klassifizieren. Dies ermög-

licht es, die Aktivität einzelner Bereiche zu erkennen und festzustellen, ob der Betrieb der Norm entspricht.

[1] Matthew J. Turner, Nicholas Langellier, Rachel Bainbridge, Dan Walters, Srujan Meesala, Thomas M. Babinec, Pauli Kehayias, Amir Yacoby, Evelyn Hu, Marko Loncar, Ronald L. Walsworth, and Edlyn V. Levine, Magnetic Field Fingerprinting of Integrated-Circuit Activity with a Quantum Diamond Microscope, Phys. Rev. Applied 14, 014097 — Published 31 July 2020

David Appel

06157 80710-499

appel@qd-europe.com

Neues für Anwender rund um das Thema „Elektrische Messungen“

Für alle Anwender, die sich mit dem Thema elektrische Messungen, Lock-In etc. beschäftigen, gibt es neue Berichte und Anwendungshilfen. Aktuell stehen drei Berichte zu folgenden Themen zur Verfügung:

- Application Brief „Common-Mode Artifacts in 2D materials with Significant Contact Resistance“
- Application Brief “Compensated Resistance Measurements Using a Lock-In: How to handle Phase Shifts in a Measurement”.

- White Paper “A Practical Approach to Understanding External Noise”



Die Abbildung stammt aus dem Paper „Common-Mode Artifacts“. Sie zeigt eine skizzierte Versuchsanordnung zur elektrischen Charakterisierung eines 2D-Materials mit einem Widerstand von 10 Ohm. Die angenommenen Kontaktwiderstände sind 10 und 20 kohm. Ein klassischer Versuchsaufbau mit einem Lock-In-Verstärker führt aufgrund des Gleichtakt-Effektes zu einem Fehler von über 90%.

Mit dem M81-SSM hingegen kann die gleiche Probe nahezu fehlerfrei gemessen werden. Hintergrund ist die Verwendung einer ausgeglichenen Stromquelle (BCS-10) und eines Voltmeters (VM-10) mit einem sehr hohem Eingangswiderstand.

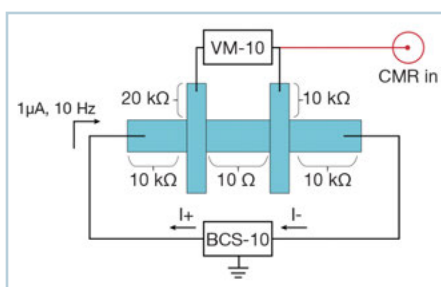
Eine ausführliche Diskussion des Messbeispiels finden Sie im oben genannten Applikationsbericht. Dieser und die beiden anderen Berichte können kostenlos von der Homepage unseres Partners Lake Shore Cryotronics heruntergeladen werden oder wir senden sie Ihnen gerne per E-Mail zu.

Bei Fragen zu elektrischen Messungen in AC, DC oder mit Lock-In (auch mehrkanalig) stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung.

Dr. Marc Kunzmann

06157 80710-46

kunzmann@qd-europe.com



M81-SSM Aufbau

Ozon-Oberflächenreinigung mit dem Hitachi ZoneSEM und Hitachi ZoneTEM

In der Praxis gestaltet es sich als ineffizient, derartige Kontaminationen durch klassische Oberflächenreinigungsverfahren zu beseitigen: Bei Flüssigreinigung mit organischen Lösungsmitteln haften Restmoleküle an, Desorption durch Heizen erfolgt bei vielen Proben nicht oder nur unvollständig und bei Plasmareinigung besteht das Risiko, zu beobachtende Oberflächenstrukturen durch invasive Einwirkung irreparabel zu schädigen.

Die Oberflächenreinigung mit Ozon hingegen stellt eine schonende und effektive Methode zur Entfernung von kohlenstoffhaltigen Kontaminationen dar: Eine UV-Lampe generiert über der zu reinigenden Probenoberfläche aus dem atmosphärischen Disauerstoff in einem photochemischen Prozess hochreaktive Ozonmoleküle. Die störenden Verunreinigungen werden in der Folge durch das Ozon zu leicht flüchtigen Verbindungen wie Kohlenstoffdioxid und Wasser oxidiert. Das Resultat dieses Reinigungsvorgangs ist eine Oberfläche, deren Strukturdetails mit dem Elektronenmikroskop wieder direkt beobachtbar sind (Abb. 1).

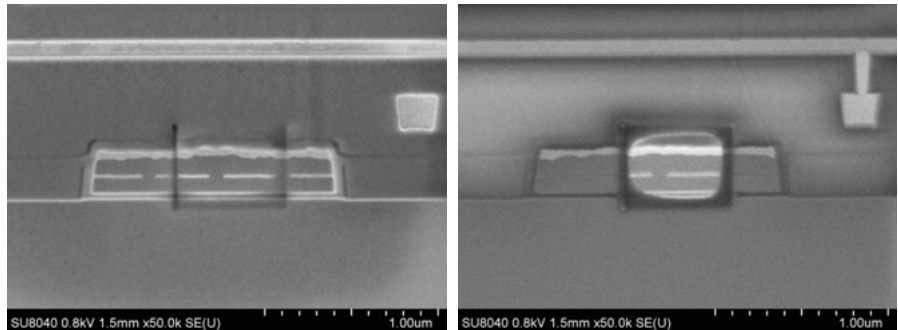


Abb. 1: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen eines Transistorquerschnitts: Links vor der Ozonreinigung und rechts nach der Ozonreinigung.

Die Modelle ZoneSEM und dem ZoneTEM von Hitachi sind Ozonreiniger, welche speziell auf die Bedürfnisse von Elektronenmikroskopisten maßgeschneidert sind. So ist es möglich, Substrate gemeinsam mit den Probenhaltern in das Kammervolumen zu laden, wodurch nach dem Reinigungsprozess die Transferzeit ins Elektronenmikroskop verkürzt wird. Die Sauerstoffkonzentration in der Kammer ist über den Vakuumdruck einstellbar, wodurch die Exposition der Oberfläche gegenüber dem Ozon spezifisch auf die individuellen Anforderungen der Probe angepasst werden kann. Im ZoneTEM ist zudem eine beidseitige Ozonbehandlung von TEM-Proben möglich und es können bis zu drei

Probenhalter gleichzeitig in das System eingebracht werden.

Weitere Informationen zum ZoneSEM und ZoneTEM finden Sie unter:

<https://qd-europe.com/de/en/product/zonesemii-sample-cleaner/>

<https://qd-europe.com/de/en/product/zonetem-sample-cleaner/>

Bei Interesse und offenen Fragen sprechen Sie uns gerne jederzeit an.

Dr. Simon John

06157 80710-841

john@qd-microscopy.com

Technologie gestalten: Innovation und Präzision im Produktmanagement

„Als Product Manager lege ich großen Wert auf die enge Zusammenarbeit mit der Entwicklung und der Spitzenforschung. Durch meine umfangreiche Erfahrung in der Quantenoptik kann ich die Anforderungen unserer Kunden präzise erfassen und innovative Lösungen entwickeln, die höchsten Ansprüchen genügen. Dabei treibt mich die Leidenschaft für neue Technologien an, um stets die Grenzen des technisch Machba-

ren auszuloten. Mein Ziel ist es, Produkte zu schaffen, die nicht nur zukunftsweisend sind, sondern auch nachhaltigen Mehrwert für unsere Kunden und die Gesellschaft bieten.“
— Matthias Müller, Produktmanager bei Quantum Design Europe

Simone Heck

06157 80710-0

spectrum@qd-europe.com



Kritisch-Punkt-Trocknung für die Elektronenmikroskopie

Die Rasterelektronenmikroskopie (REM) ermöglicht Einblicke in Oberflächenstrukturen mit einer Auflösung im Nanometerbereich. Um jedoch unter den hohen Vakuumbedingungen des REMs klare und detaillierte Abbildungen biologischer Proben zu erhalten, ist eine spezielle Probenvorbereitung notwendig. Durch die hohe Oberflächenspannung von Wasser (72,86 mN/m bei 20 °C) kann die vakuuminduzierte Verdampfung von Wassermolekülen in biologischen Proben zu strukturellen Verformungen und Bildverzerrungen führen. Daher muss Wasser vor der elektronenmikroskopischen Untersuchung entfernt werden, um präzise Ergebnisse sicherzustellen.



Die Kritisch-Punkt-Trocknung (KPT), auch als überkritische Trocknung bekannt, ist eine besonders effektive Methode zur Probenvorbereitung für die REM. Im Vergleich zu Luft- oder Gefriertrocknung ermöglicht sie den Erhalt empfindlicher morphologischer Strukturen. Dies wird in Abbildung 1 verdeutlicht: In 1a ist ein Tomatenblatt abgebildet, das durch Lufttrocknung deformiert wurde, während in 1b ein mittels KPT getrocknetes Tomatenblatt seine Strukturen bewahrt hat.

Das Prinzip der KPT beruht auf der Verdampfung von CO₂ an dessen

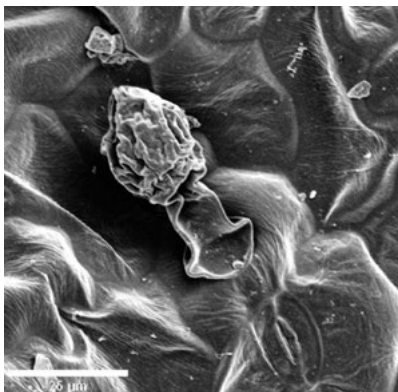


Abb. 1a: Tomatenblatt – Lufttrocknung

kritischem Punkt (31,1 °C, 73,8 bar; Abbildung 2), an dem die Oberflächenspannung auf null sinkt. Dadurch können struktureller Kollaps und Schrumpfung, wie sie bei Luft- oder Gefriertrocknung auftreten, vermieden werden.

Da CO₂ nicht mit Wasser mischbar ist, wird eine Zwischenflüssigkeit benötigt, um das Wasser aus den Proben zu entfernen. Üblicherweise werden Ethanol oder Aceton verwendet, da sie sowohl mit Wasser als auch mit CO₂ mischbar sind. Nach der üblichen Fixierung (z.B. mit Glutaraldehyd oder Formalin) und anschließender Pufferwäsche zur Entfernung des Fixiermittels erfolgt die Entwässerung der Proben. Diese werden schrittweise in höhere Konzentrationen der Zwischenflüssigkeit überführt, bis sie schließlich in 100 % Ethanol oder Aceton vollständig entwässert sind. Um ein Austrocknen zu vermeiden, werden die Proben mit der Zwischenflüssigkeit in den Kritisch-Punkt-Trockner überführt.

Je nach Gerät erfolgt dann der Trocknungsprozess manuell oder automatisiert. Zunächst wird die Zwischenflüssigkeit durch flüssiges CO₂ ersetzt. Mehrere Spülvorgänge stellen sicher, dass die Zwischen-

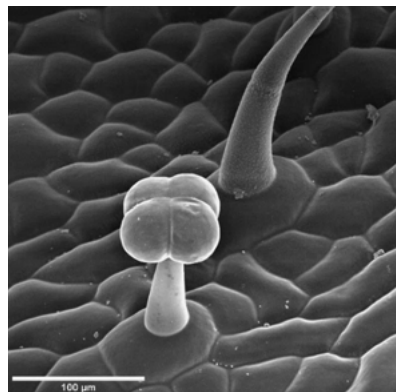


Abb. 1b: Tomatenblatt – Kritisch-Punkt-Trocknung

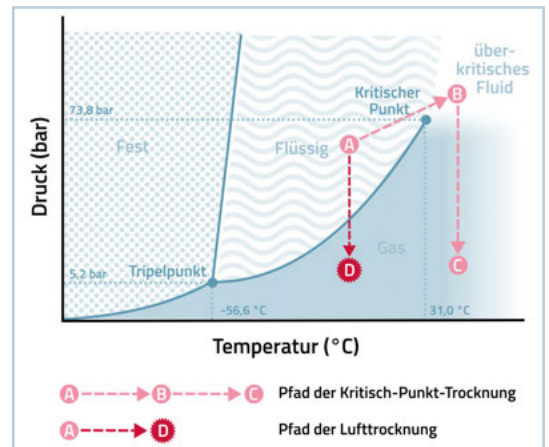


Abb. 2: Kohlendioxid-Phasendiagramm (nicht maßstabsgetreu). Pfade der Kritisch-Punkt-Trocknung (A-B-C) bzw. der Lufttrocknung (A-D) sind dargestellt.

flüssigkeit vollständig entfernt wird. Anschließend wird das CO₂ in der Kammer langsam erhitzt. Durch den steigenden Druck überschreitet das System den kritischen Punkt von CO₂ (Pfad A → B in Abbildung 2), was durch das Verschwinden des Meniskus im Sichtfenster erkennbar ist. Beim anschließenden langsamen Druckabbau, während die Temperatur konstant bleibt (Pfad B → C), wird die Probe schonend getrocknet, ohne den Phasenübergang von Flüssigkeit zu Gas zu durchlaufen (Pfad A → D). Dadurch bleiben die ursprünglichen Strukturen der Probe erhalten, wie erneut am Vergleich der Tomatenblätter in Abbildung 1 deutlich wird.

Nach der KPT sollten die Proben auf einen Probenstüb aufgebracht und idealerweise mit einer leitfähigen Beschichtung, wie z.B. Gold oder Platin, versehen werden, bevor sie im REM untersucht werden.

Bei Fragen zur Kritisch-Punkt-Trocknung oder zur Probenpräparation stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung.

Anne Kast

06157 80710-456

kast@qd-europe.com

High performance Detektoren für REM und TEM Systeme

Unser Lieferant Advacam/Advacscope stellt mit dem ePix und dem ePix EFE zwei leistungsstarke Detektoren für die Elektronen Mikroskopie (REM & TEM) vor. Die Detektoren können für nahezu alle gängigen Anwendungen konfiguriert werden. Dazu gehören:

- 2D/4D STEM in SEM/TEM
- EBSD
- EELS
- Ptychographie
- μ ED
- μ CT and nanoCT

Die ePix Detektoren basieren auf der dritten Generation der Timepix Technologie. Advacam ist Gründungsmitglied des CERN Medipix Consortiums und die einzige Firma, welche eine Lizenz für jede Timepix Generation besitzt.

Die ePix Detektoren verwenden datengesteuertes Auslesen, wobei jedem Elektron ein Zeitstempel mit

präzisen Positions- und Energieinformationen zugewiesen wird. Die Detektoren bieten einen praktisch unbegrenzten Dynamikbereich und eine um Größenordnungen bessere Empfindlichkeit bei niedrigen keV-Werten im Vergleich zur indirekten Elektronenerfassung. ePix kombiniert eine leistungsstarke Auslesearchitektur mit einem innovativen und robusten Detektordesign und schafft so den ultimativen Detektor für Elektronenmikroskopieanwendungen mit hohem Durchsatz, hoher Auflösung und hoher Empfindlichkeit. Hauptvorteile dabei sind:

- Einzelelektronenempfindlichkeit
- Großer Raumwinkel auf kleinstem Raum
- Hohe räumliche Auflösung
- Ultraschnelle Auslesegeschwindigkeit

Die Detektoren können schnell und einfach in bestehende REM oder

TEM Systeme integriert werden und über ein offenes SDK in bestehende Softwarelösungen integriert und ausgelesen werden. Ebenso steht auch eine eigenständige Softwarelösung zur Verfügung.

Der Energiebereich des Detektors beträgt 2.5-300 keV und die Pixelgröße ist $55 \mu\text{m} \times 55 \mu\text{m}$. Dies ergibt bei einer Pixelmatrix von 256×256 eine Sensorgröße von $14 \text{ mm} \times 14 \text{ mm}$. Die Dicke des Si-Sensors kann im Bereich von 100-500 μm je nach gewünschter Anwendung variiert werden. Jeder Detektor wird in enger Absprache mit unseren Kunden entwickelt, um das bestmögliche Ergebnis zu erzielen.



Dr. Andreas Bergner

06157 80710-12

bergner@qd-europe.com

Auswahl des richtigen Teslameters

Bei der Suche nach dem richtigen Gauß- oder Teslameter für Ihre Anwendung sollten Sie bedenken, dass nicht jeder Sensor, jede Probe und jedes Teslameter gleich ist und dass jede Lösung ihren eigenen Platz auf dem Markt hat.

Die Herausforderung besteht darin, herauszufinden, welche Eigenschaften Sie benötigen und wo die Hersteller diese in ihrem Marketingmaterial verstecken. Nachfolgend

sind die wichtigsten Parameter aufgeführt, die bei der Auswahl der richtigen Geräte helfen sollen.

Unser Partner Lake Shore hat nun ein White Paper veröffentlicht, das Ihnen bei der Auswahl des richtigen Teslameters helfen soll. Es wird erläutert, welche Hard- und Softwareeigenschaften entscheidend sind. Bei der Auswahl der Hardware sind die Genauigkeit, der Messbereich, die Wahl der richtigen Sonde, die Temperaturkompensation und die Benutzerfreundlichkeit entscheidend. Auf der Softwareseite sind Einstellmöglichkeiten wie Wechsel zwischen Gleich- und Wechselstrom und Fehlerkorrektur wichtig. Darüber hinaus sind für viele Anwendungen Haltefunktionen und Datenerfas-

sung notwendig, um die gesammelten Daten für weitere Auswertungen nutzen zu können.

Abschließend stellt Lake Shore in diesem White Paper einen Entscheidungsbaum zur Verfügung, der die Vorauswahl des geeigneten Messgerätes erleichtert.

Gerne helfen wir Ihnen bei der Auswahl und bei weiterführenden Fragen.

Das White Paper kann hier abgerufen werden: bit.ly/3NT68IH



Teslameter F71

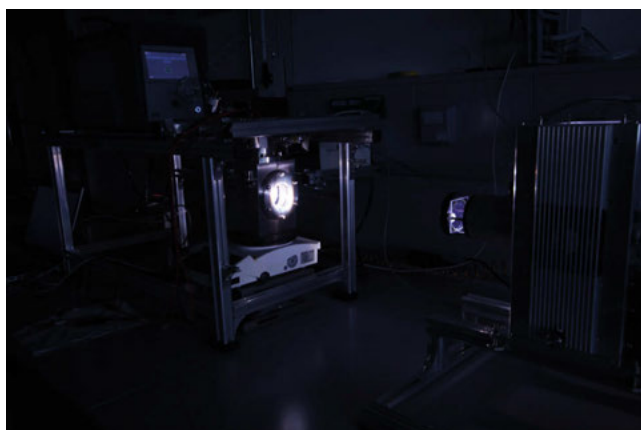
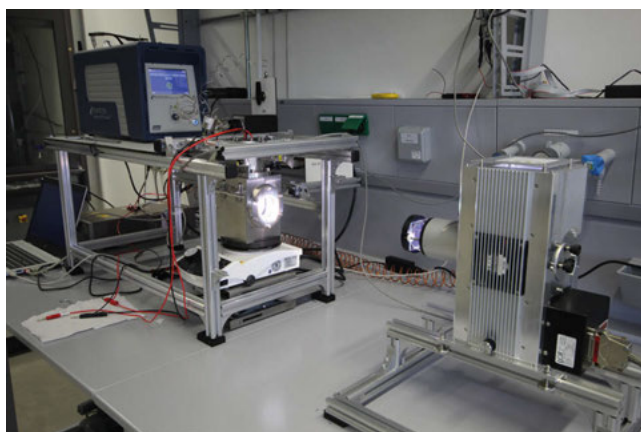
Matthias Müller

06157 80710-554

mueller@qd-europe.com

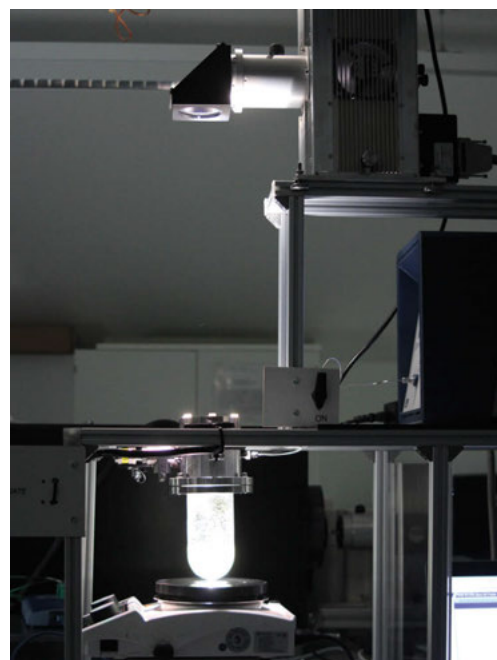
Solar-to-Hydrogen Efficiency (STH)

Die Entwicklung einer nachhaltigen Energiewirtschaft, die nicht auf limitierten fossilen Brennstoffen, sondern auf erneuerbaren Energien beruht ist eine dringende Aufgabe. Wasserstoff ist eine der führenden Alternativen für die Speicherung und den Transport von Energie unter der Voraussetzung, dass er effizient unter Benutzung von nachhaltigen Energiequellen produziert und sicher gespeichert werden kann. Die Probleme, die mit der elektrischen Energiespeicherung verbunden sind, können vermieden werden, da die Energie in der Form von chemischen Bindungen verwahrt wird. Solare Energie, die größte nachhaltige Energiequelle, besitzt das Potential, genug Leistung in der erforderlichen Größenordnung zur Verfügung zu stellen, wie sie für eine kohlendioxidfreie Herstellung von Wasserstoff erforderlich ist. Direkte, solare Wasserspaltung mit Hilfe von photokatalytischen oder photoelektrochemischen Prozessen



ist eine vielversprechende Alternative zur zweistufigen Energieumwandlung von solarer Energie über elektrische Energie in chemische Energie. Dieser Weg besitzt das langfristige Potential wirtschaftlich attraktiver zu werden als das bereits etablierte zweistufige Verfahren. Es gibt heute weder Materialien noch Reaktoren oder Zellen, die alle notwendigen Voraussetzungen für eine ökonomische Umsetzung der solaren Wasserspaltung erfüllen, da die Komplexität der photokatalytischen bzw. photoelektrochemischen Wasserspaltung kompliziertes Bauelementdesign und/oder die Benutzung von seltenen und teuren Materialien erzwingt.

Ein wesentlicher Schritt zur Entwicklung von photokatalytisch oder photoelektrochemisch leistungsfähigen Wasserspaltungssystemen ist, ähnlich wie bei Solarzellen, die Durchführung von standardisierten vergleichbaren Leistungsmessungen. Es gibt vor allem eine Messgröße, die sich international etabliert hat: Die Solar-to-Hydrogen Efficiency (STH), d.h. der Quotient aus der chemischen Energie, die durch das Verbrennen des erzeugten Wasserstoffs freigesetzt werden kann und der eingestrahnten Sonnenenergie. Falls die STH nicht zugänglich ist, wird vor allem in der photoelektrochemischen Wasserspaltung die Photostromdichte bei einer Spannung von 1,23 V als ein Leistungskriterium herangezogen. Für beides ist die



Einstrahlung des globalen Standardspektrums AM1.5G notwendig. In der Arbeitsgruppe Funktionsmaterialien wurden mit Hilfe der Kombination Xenonlampe und AM1.5G Filter die notwendigen Strahlungsbedingungen geschaffen, um mit Hilfe eines Gaschromatographen oder eines Potentiostaten die STH oder die Photostromdichte zu bestimmen. Da neben der spektralen Verteilung auch die Energiedichte des Lichts wichtig ist, muss diese mit Hilfe einer kalibrierten Solarzelle eingestellt werden. Auch dies lässt sich mit dem beschriebenen Set-up einfach bewerkstelligen. Somit steht einer reproduzierbaren, internationalen Standards entsprechenden Charakterisierung von Photoelektroden und Photokatalysatoren nichts mehr im Wege.

Quelle: User Bericht zum Solar Simulator von Quantum Design Europe Universität Salzburg, Fachbereich Chemie und Physik der Materialien, Arbeitsgruppe Funktionsmaterialien.

Michael Foos

06157 80710-34

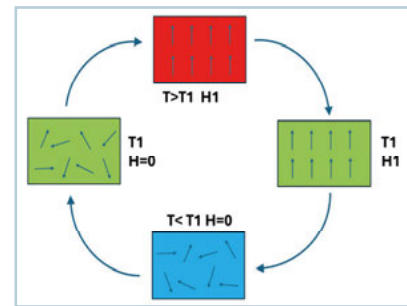
foos@qd-europe.com

Materialcharakterisierung mit den PPMS und MPMS-Systemen

Der Magnetokalorische Effekt beschreibt das Zusammenspiel von magnetischen und thermischen Eigenschaften und Materialien mit diesem Effekt sind sowohl für die Grundlagenforschung von Interesse und haben darüber hinaus auch ganz praktische Anwendungen. So gibt es die ersten kommerziellen Kühltürme, die diesen Effekt nutzen und dadurch einen geringeren Stromverbrauch aufweisen.

Anhand einer kürzlich erschienen Veröffentlichung in der Zeitschrift Nature Communications [1] soll der Nutzen der QD-Systeme PPMS und MPMS in der hier diskutiert werden. Die Autoren unter der Projektleitung von Professor G. R. Blake aus Groningen haben die Kobaltverbindung $\text{Co}_4(\text{OH})_6(\text{SO}_4)_2[\text{enH}_2]^*$ untersucht. Diese Verbindung zeigt einen gigan-

tischen magnetokalorischen Effekt bei Temperaturen um 10 K und könnte damit für magnetokalorische Kühlung bei kryogenen Temperaturen zum Einsatz kommen. Die Messungen mit den Systemen von Quantum Design lieferten Schlüsseldaten in der Charakterisierung. Zum Einsatz kam das PPMS- und ein MPMS-System. Gemessen wurden die magnetischen Eigenschaften DC-Magnetisierung (MPMS SQUID-Magnetometer) und AC-Suszeptibilität (PPMS) sowie die Wärmekapazität (PPMS). Aus den Messdaten der Wärmekapazität konnten die Forscher die Entropieänderung der Probe bestimmt, eine wichtige Größe zur Einordnung der magnetokalorischen Eigenschaften der Probe. Eine ausführliche Beschreibung finden Sie in der „open Access“ Veröffentlichung. Für Fragen zu den QD-Systemen und deren Mess-



Schema der Magnetischen Kühlung

möglichkeiten stehen wir gerne zu Ihrer Verfügung.

[1] J. J. B. Levinsky et al. "Giant magnetocaloric effect in a rare-earth-free layered coordination polymer at liquid hydrogen temperatures". Nature Communications (2024)15:8559

* enH₂: Ethylendiammonium

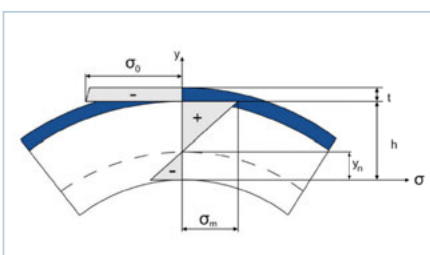
Dr. Marc Kunzmann

06157 80710-46

kunzmann@qd-europe.com

Messung der Schicht-Spannung in dicken Schichten

Eines der gängigsten Systeme, um die Schicht-Spannung in dünnen Filmen zu messen, ist das Flexus von Toho. In den meisten Fällen beträgt die Schichtdicke dabei weniger als 1/100 der Substratdicke. In einigen Fällen ist es jedoch wünschenswert, die Spannung in viel dickeren Schichten zu messen. Die Berechnungen der Spannungsmessung für dünne Schichten können für die Anwendung bei dicken Schichten modifiziert werden. Hierzu werden Korrekturfaktoren herangezogen, die auf dem Verhältnis der Schicht-Substratdicke basieren.



Ein Beispiel für Spannungen in einer dicken Schicht ist ein Siliziumchip, der an einem Gehäuse oder einem Leadframe befestigt ist. Der "Film" ist der Siliziumchip selbst und das "Substrat" ist das Gehäuse oder der Leiterrahmen. Das Verhältnis Schicht-Substrat kann in diesem Fall bis zu 1/2 betragen. Die Spannungsverteilung in der Dickschicht und dem Substrat ist in Abb. 1 schematisch dargestellt. Zu sehen ist eine komprimierte Schicht auf einem Substrat ($\sigma < 0$) mit einer durchschnittlichen Kompression in der Schicht von σ_0 . Die Spannung im Substrat reicht von einer maximalen Spannung von σ_m in der Nähe der Schicht bis zu einer maximalen Kompression auf der Rückseite.



Um mehr über dieses Anwendungsgebiet zu erfahren, können Sie sich die komplette Anwendungsnotiz auf unserer Produkthomepage im Download-Bereich herunterladen.

<https://qd-europe.com/flx-flexus/>

Dr. Tobias Adler

06157 80710-479

adler@qd-europe.com

Niedrigenergie-XRF (LE-XRF) in der Halbleitermesstechnik mit dem Sigray AttoMap-System Teil 1 – Vorstellung des Systems

Die Mikroröntgenfluoreszenz (μ XRF) hat sich in der Halbleiterindustrie als unschätzbar wertvolle Analysetechnik erwiesen, da sie eine zerstörungsfreie Elementaranalyse mit hoher Empfindlichkeit für Dotierstoffe und dünne Filmdicken ermöglicht. μ XRF wird üblicherweise bei hohen Röntgenenergien (>5 keV) durchgeführt und gilt als Messsystem für Elemente mit hoher Ordnungszahl (hoher Z). Häufig wird jedoch übersehen, dass die μ XRF bei niedrigeren Röntgenenergien noch leistungsfähiger ist. In diesem Artikel stellen wir einige Anwendungsbeispiele des AttoMap-Systems bei niedrigen Energien für kritische Anwendungen in der Halbleitermesstechnik vor.

Übersicht über das AttoMap-310

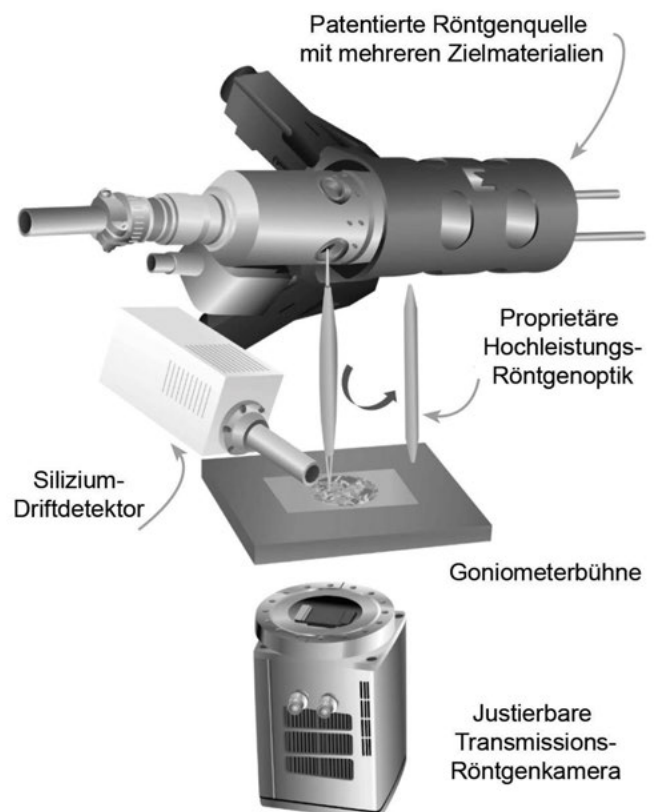
Die Durchführung von μ XRF bei niedrigen Röntgenenergien bietet gegenüber konventioneller μ XRF bei höheren Energien erhebliche

Vorteile, darunter eine um Größenordnungen höhere Empfindlichkeit gegenüber Elementen mit niedrigem Z-Wert und sogar eine deutlich verbesserte Empfindlichkeit und kürzere Erfassungszeit für die niedrigere Energie (L- und M-Linien) von Elementen mit hohem Z-Wert, da die Röntgenoptik mit dem Quadrat der Wellenlänge zunimmt. Trotz der zahlreichen Vorteile ist der größte Engpass bei μ XRF mit niedriger Energie die geringe Helligkeit von Röntgenquellen, die Röntgenstrahlen mit niedriger Energie erzeugen, sowie die erheblichen Herausforderungen bei der Herstellung von Röntgenoptiken für niedrigere Energien. Das AttoMap-310 verwendet Sigrays patentiertes Röntgenquellendesign, das aktiv gekühlten Diamanten verwendet, um eine hohe Leistungsbelastung zu erreichen, und seine hocheffiziente axial-

symmetrische Röntgenoptik. Das System wurde von der Halbleiterindustrie [1] rasch für eine breite Palette von Anwendungen zur Elementanalyse übernommen, darunter:

- Aluminium, zur Austrittsarbeits-einstellung in Transistoren
- Fluor, ein Rückstand aus der Verarbeitung (z. B. Ätzen)
- Germanium, das in SiGe-Strukturen für Gate-All-Around-Anwendungen und als metrologischer Endpunkt für Ätzen verwendet wird
- Molybdännitrid, das häufig als Dünnschicht in Gate-Elektroden und in Speicheranwendungen verwendet wird

Weitere Anwendungen umfassen Bor, Titannitrid, Sauerstoff und Zirkoniumoxid.



» AttoMap-310 Mikro-Röntgen-fluoreszenzmikroskop (μ XRF):

Sigrays AttoMap-310 μ XRF ermöglicht eine schnelle Analyse sowohl von Elementen mit niedriger Ordnungszahl (niedriger Z) bis hinunter zu Bor (B) als auch von Fluoreszenzlinien mit niedriger Energie (z. B. L- und M-Linien) von Elementen mit hoher Ordnungszahl. Seine beispiellose Leistung wird durch mehrere wichtigen Innovationen bei kritischen Röntgenkomponenten ermöglicht, darunter:

1) Patentierte Röntgenquelle mit mehreren Targets

Sigrays Röntgenquelle ermöglicht es Anwendern, bis zu fünf verschiedene Röntgenzielmaterialien auszuwählen, um die einfallende Röntgenenergie abzustimmen und so die Empfindlichkeit um bis zu zwei bis drei Größenordnungen zu maximieren. Zu den Targets gehören Sigrays patentierte keramische Röntgenquellentargets, die im Vergleich zu herkömmlichen Röntgentargetmaterialien wie Aluminium eine wesentlich höhere Leistungsbelastung und höhere Helligkeit bieten. Besonders vorteilhafte Targets für Halbleiteranwendungen sind Sigrays SiC-Röntgentargets, die

eine ultrahelle Si-Linie erzeugen, die eine Anregung der Si-Fluoreszenz des Substrats/Wafer vermeidet, und ein Calcium-basiertes Target für hocheffiziente Sn/Ag-Verhältnismessungen. Andere Targets sind Au, Cr, Cu usw.

2) Proprietäre Röntgenoptik

Im Gegensatz zu herkömmlichen μ XRF-Systemen, die Polykapillaroptiken verwenden, nutzt das AttoMap-310 Sigrays proprietäre axial-symmetrische Röntgenoptik. Diese Optik bietet eine höhere Leistung bei niedrigen Röntgenenergien und kann so ausgelegt werden, dass sie >99% eines Röntgenstrahls innerhalb eines 40 μ m Testfeldes liefert (oder auf einen kleinen 3-5 μ m achromatischen Röntgenfleck fokussiert). Die Sigray-Optik ermöglicht es auch, den Detektor viel näher an der Probe zu platzieren als Polykapillaroptiken, wodurch eine viel größere Fluoreszenzdetektion erreicht wird.

3) Goniometer Tisch (θ - 2θ)

Der Probenstisch und die SDD des AttoMap-310 können gedreht werden, um nahezu streifende Einfallswinkel auf die Proben zu erreichen und

so die Empfindlichkeit von Röntgenstrahlen mit niedriger Energie zu maximieren. Rotationswinkel können auch angepasst werden, um Beugungsspitzen in Si-Wafer zu entfernen.

4) Vakuumgehäuse

Der AttoMap-310 arbeitet mit einer Vakuumkammer, die <10E-5 Torr erreicht und so konzipiert wurde, dass auf Anfrage von Halbleiterkunden ultraniedrige Konzentrationen von Kohlenstoff und Sauerstoff möglich sind.

Im nächsten Teil unserer Serie über Niedrigenergie-Röntgenfluoreszenz (LE-Röntgenfluoreszenz) in der Halbleitermesstechnik stellen wir erste Messergebnisse für Aluminium-, Fluor-, Germanium- und Molybdän-Nitrid-Proben vor.

[1] Microscopy Today 2023 Awards. <https://academic.oup.com/mt/article/31/5/12/7273061>

Dr. Andreas Bergner

06157 80710-12

bergner@qd-europe.com

Neutralsichtfilter (ND) in Image Quality

ND-Filter (Neutralsichtfilter) reduzieren gleichmäßig die Transmission über einen Teil des Spektrums. Die Andover Corporation bietet verschiedene ND-Filter für zahlreiche Anwendungen an.

Absorbierend

Mit Antireflexionsbeschichtung zur Reduzierung von Reflexionen und



Streulicht, ideal für Bildgebung, Kalibrierung, maschinelles Sehen, Mikrofotografie und Forschung.

Metallische UV-VIS-NIR- und VIS-NIR-Filter

Erreichen ihre optische Dichte durch eine Metalllegierungsbeschichtung auf spezifischen Substraten, angepasst an den Wellenlängenbereich; geeignet für Bildgebung, Kalibrierung und Laser mit geringer Leistung.

Infrarot-Neutralsichtfilter

Mit hoher spektraler Neutralität

durch Metalllegierungsbeschichtung auf IR-Substraten; ideal für anspruchsvolle Anwendungen.

Für bestimmte Dichten ist eine Variante mit Breitband-Antireflexionsbeschichtung erhältlich, um Mehrfachreflexionen in Abbildungssystemen zu minimieren.

Jörg Tobisch

06151 8806-50

tobisch@qd-europe.com

Analyse von Vitamin-C-Tabletten mittels kombinierter SEM- und AFM-Techniken

In der pharmazeutischen Forschung ist das Verständnis der Oberflächeneigenschaften von Vitamin-C-Tabletten von entscheidender Bedeutung für die Optimierung ihrer Verabreichung.

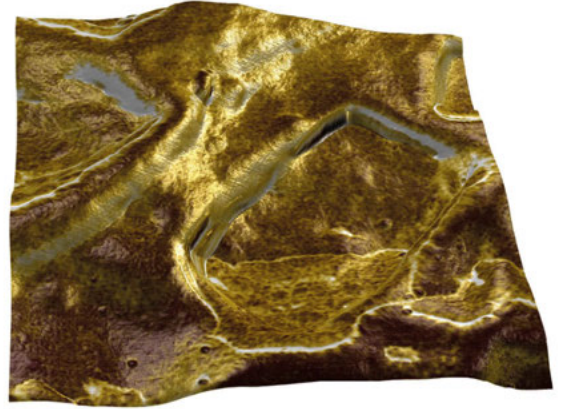
Diese Eigenschaften werden in der Regel mit Hilfe der Rasterelektronenmikroskopie (SEM) und der Rasterkraftmikroskopie (AFM) untersucht. SEM liefert detaillierte Informationen über die Oberflächenmorphologie, während AFM die Oberflächenrauheit im Nanobereich misst. Die Kombination dieser Techniken stellt jedoch eine Herausforderung dar, insbesondere wenn es um Partikel im Nanometerbereich geht.

Das herkömmliche AFM hat aufgrund der Grenzen der optischen Mikroskopie und der Rauheit der Tablettenoberfläche Schwierigkeiten,

seine Spitze auf solch kleinen Partikeln zu positionieren, was zu potenzieller Kontamination und ungenauen Daten führt. Darüber hinaus kann das SEM allein zwar die Oberflächenmorphologie sichtbar machen, aber nicht die detaillierten Daten zur Oberflächenrauheit liefern, die das AFM bietet.

Mit dem FusionScope können Forscher bestimmte Partikel mit dem SEM leicht identifizieren und dann die AFM-Spitze genau an die Stelle führen, an der sie detaillierte Messungen der Oberflächenrauheit vornehmen möchten. Der kombinierte Analyseansatz und das universelle Koordinatensystem machen einen Probentransfer zwischen den Instrumenten überflüssig, wodurch das Kontaminationsrisiko verringert und die Effizienz der Analyse verbessert wird.

In diesem Applikationsbeispiel wurde das FusionScope zur Analyse von Vitamin-C-Partikeln unterschiedlicher Größe und Morphologie eingesetzt. Die SEM-Untersuchung lieferte einen Überblick über die Partikel, während die AFM-Untersuchung präzise Messungen der Oberflächenrauheit ermöglichte. Die Messungen ergaben erhebliche Rauheitsunterschiede zwischen den einzelnen Partikeln, wobei die Werte zwischen 150 und 600 Nanometern lagen. FusionScope ermöglichte auch die Identifizierung potenzieller Oberflächenverunreinigungen durch

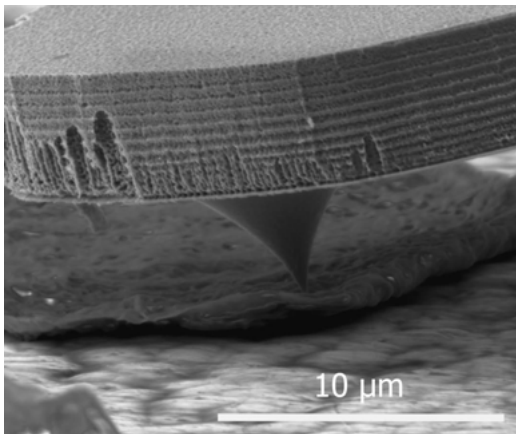
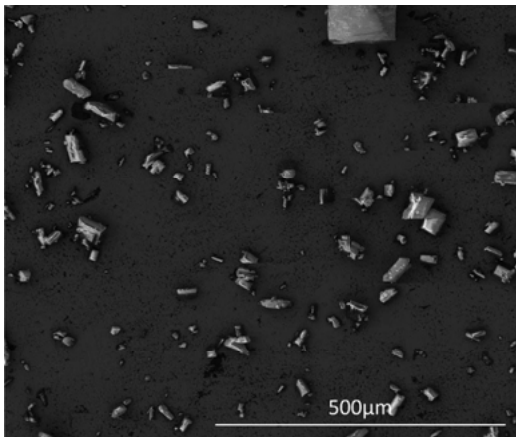


die Kombination von Phase Imaging und Kraft-Abstands-Kurven, was Einblicke in die Materialzusammensetzung der Partikel ermöglichte.

Vorteile und Ergebnisse

Der Einsatz von FusionScope vereinfacht den Prozess der Analyse im Nanobereich durch die Integration mehrerer Techniken in einer einzigen, leicht zu bedienenden Plattform. Es reduziert die für die Datenerfassung benötigte Zeit und minimiert das Risiko einer Verunreinigung oder Beschädigung der AFM-Spitze. Darüber hinaus bietet es eine umfassende, korrelative Analyse der Partikeleigenschaften, die für die Optimierung des Designs und der Funktionalität von pharmazeutischen Tabletten wie Vitamin C von entscheidender Bedeutung ist.

Durch die Verbesserung der Genauigkeit und Effizienz der Partikelanalyse stellt FusionScope einen bedeutenden Fortschritt auf dem Gebiet der pharmazeutischen Forschung dar und bietet Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern in Forschungsinstituten und Industrie gleichermaßen ein leistungsstarkes Werkzeug.



Marion Wolff

06157 80710-663

wolff@qd-microscopy.com

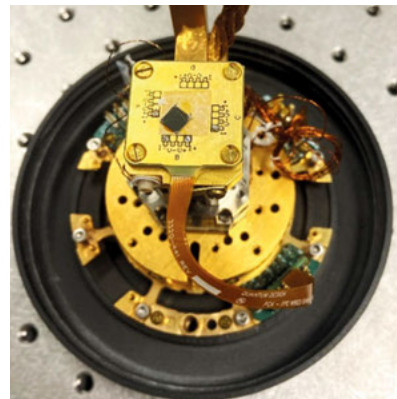
Ladungsträgeraufgelöste Foto-Hall-Effekt-Messungen im OptiCool mit dem M91

In der zitierten Anwendungsnotiz [1] von Quantum Design (QD) wird das Lake Shore Fast Hall System M91 zusammen mit einem OptiCool von QD verwendet. Das OptiCool ist ein optischer Kryostat mit geschlossenem Heliumkreislauf und supraleitendem Magneten, der für geringe Vibrationen im Probenbereich entwi-

ckelt wurde. Das M91 kontrolliert die Temperatur und das Magnetfeld im OptiCool. Gleichzeitig führt das M91 Widerstands-, Hall- und Mobilitätsmessungen in Van-der-Pauw-Geometrie oder Hall-Messungen in 6-Kabel-Geometrie durch. Darüber hinaus wird die Probe optisch angeregt. Auf diese Weise können ladungsträgeraufgelöste Photo-Hall-Effekt-Messungen durchgeführt werden.

Die Anwendungsnotiz erläutert die erforderliche Hardware sowie die Steuerung der gesamten Anlage mit MeasureLINK. Diese Software wurde von Lake Shore entwickelt und kann sowohl das M91 als auch das OptiCool steuern.

Außerdem wird erklärt, wie die Proben befestigt und verdrahtet werden. Die Abbildung zeigt als Beispiel eine InAs-Probe. Diese ist auf einem drahtgebundenen Probenhalter montiert. Ein gängiger Trick, um die Probe elektrisch vom Probenhalter zu isolieren, ohne die thermische Verbindung nennenswert zu ver-



schlechtern, besteht darin, ein Zigarettenpapier zwischen Probe und Halter zu legen.

Für die Details der Beispielmessung und deren Auswertung verweisen wir auf die bereits erwähnte Anwendungsnotiz.

[1] <https://www.qdusa.com/siteDocs/appNotes/1318-017.pdf>



Dr. Tobias Adler

06157 80710-479

adler@qd-europe.com

FusionScope: Präzision und Innovation in der korrelativen Mikroskopie

Sind Sie auf der Suche nach innovativen Möglichkeiten, Ihre Forschung mit korrelativer Mikroskopie zu erweitern? Unsere neueste FusionScope-Broschüre bietet einen umfassenden Überblick darüber, wie unsere Instrumente Sie auf diesem Gebiet unterstützen können. Nutzen Sie den QR-Code, um direkt zur Broschüre zu gelangen und spannende Einblicke in aktuelle Anwendungen zu erhalten.

In der Broschüre finden Sie nicht nur fundierte Grundlagen zur korrelativen Rasterkraft- und Raster-

elektronenmikroskopie, sondern auch eine Vielzahl praxisorientierter Beispiele. Ein besonderes Highlight ist die neu integrierte EDS-Funktionalität (energiedispersive Röntgenspektroskopie), die völlig neue Möglichkeiten für die chemische Analyse und Strukturuntersuchungen bietet. Somit eröffnet diese Funktion neue Wege für präzise Messungen und erlaubt Ihnen, die Zusammensetzung Ihrer Proben detaillierter zu analysieren.

Entdecken Sie, wie das FusionScope Ihre wissenschaftliche Arbeit auf

die nächste Stufe heben kann und welche neuen Perspektiven sich für Ihre Forschung durch modernste korrelative Mikroskopie eröffnen.



Marion Wolff

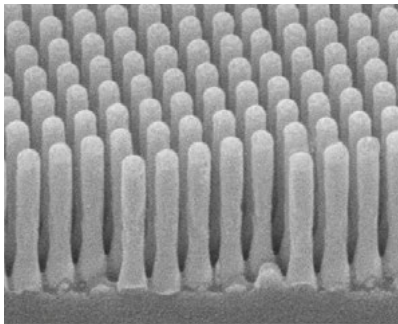
06157 80710-663

wolff@qd-microscopy.com

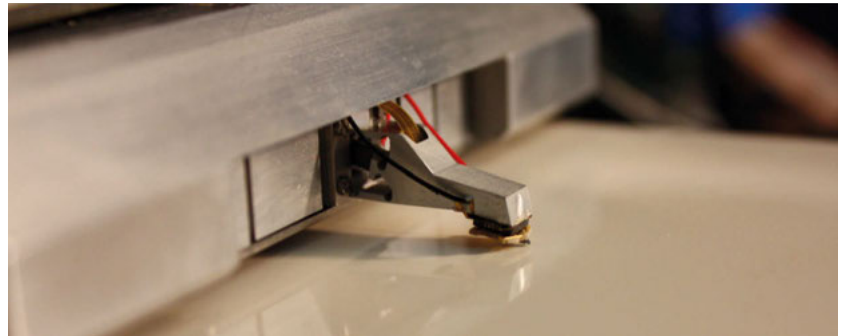
Metaoberflächen und Metalinsen

Linsen sind als grundlegendes optisches Element im täglichen Leben weit verbreitet. Sie werden in Kameras, Brillen, Mikroskopen und vielen anderen Geräten eingesetzt. Die Objektive werden auf der Grundlage der klassischen refraktiven Optik entwickelt, was zu unvermeidlichen Abbildungsfehlern wie chromatischer sowie sphärischer Aberration und Koma führt. Um diese zu minimieren, verwenden herkömmliche Abbildungssysteme meist mehrere Linsen mit unterschiedlichen Stärken und Materialien.

Metaoberflächen und -linsen bieten ein hohes Potential als Ersatz für viele klassische optische Bauteile. Sie sind eine grundlegend neue Methode der Lichtmanipulation, die auf der Streuung an Nanostrukturen und nicht auf konventioneller Brechung beruht. Damit erlauben sie eine effiziente Phasen-, Polarisations- und Intensitätskontrolle. Sie



Strahlformung/Kollimation (Metalens)



können die Wellenfront des Lichts präzise beeinflussen und beeindruckende optische Phänomene erzeugen. Dabei sind sie meist deutlich kleiner und günstiger als konventionelle Lösungen. Mehrdimensionale Metaoberflächen erreichen neuartige Funktionen, die mit konventionellen Linsen nur schwer oder gar nicht zu erreichen sind.

Unser Partner Moxtek stellt seit über 20 Jahren nanostrukturierte optische Komponenten her und kann unterschiedlichste Strukturen auf Ø200mm-Wafern in Großserie fertigen.

Das Angebot umfasst die Herstellung funktionaler Nanostrukturen wie Mikrolinsenarrays, Wellenleiter, strukturierte Metaoberflächen, diffraktive optische Elemente (DOE), photonische Kristalle und Biosensorarrays. Diese Bauelemente für Bildgebungs-, Beleuchtungs- und Displaysysteme werden beispiels-

weise in der Automobilindustrie, in der medizinischen und zahnmedizinischen Bildgebung, in Kamerasystemen und vielen anderen Bereichen eingesetzt.

Prototyping-Muster können auf Basis eines hauseigenen Design Master-Shuttles erstellt werden. Dieses NIL (Nano Imprint Lithografie) Design Master-Shuttle bietet Platz für mehrere (unterschiedliche) Designstrukturen, so dass mehrere Designs in einer einzigen Shuttle-Iteration testen werden können. Damit werden Entwicklungszeit und -kosten deutlich reduziert. Die Design Shuttles werden mehrmals im Jahr aufgelegt.

Bei Fragen sprechen Sie uns gerne jederzeit an.

Michael Foos

06151 8806-34

foos@qd-europe.com

Folgen Sie
uns auf
LinkedIn:



Quantum Design –
Ihr Partner in Europa



Quantum Design GmbH
Breitwieserweg 9
D-64319 Pfungstadt
Telefon 06157 80710-0
E-Mail spectrum@qd-europe.com

Quantum Design AG Suisse
Telefon 021 8699033
Fax 021 869908
E-Mail dumouchel@qd-europe.com

Quantum Design Benelux
Tel. +32 23084324
Mobil +32 495 797175
E-Mail struyve@qd-europe.com

Die deutsche Ausgabe des Spectrum erscheint viermal jährlich. Für den Inhalt verantwortlich: Dr. Joachim Weiss

