

TAGUNGSBERICHTE

Electronic Origin of Magnetoelastic Anisotropy and Stress in Atomic Layers**258. WE-Heraeus-Seminar**

Die besonderen elektronischen, magnetischen, strukturellen und mechanischen Eigenschaften an Oberflächen und in epitaktisch gedehnten Atomlagen waren Thema eines Wilhelm und Else Heraeus-Seminars, das vom 9.-12. September 2001 auf Schloss Ringberg, der Tagungsstätte der Max-Planck-Gesellschaft, stattfand. 33 Teilnehmer aus Frankreich, Italien, Niederlande, Spanien, USA und Deutschland trafen sich, um in 22 Vorträgen und einer Postersitzung experimentelle und theoretische Ergebnisse zu präsentieren.

Im Mittelpunkt stand die Frage, wie die gegenüber dem Volumenmaterial veränderten physikalischen Eigenschaften an Oberflächen und in gedehnten Atomlagen mit den besonderen Bindungsverhältnissen an Oberflächen und in epitaktisch gedehnten Atomlagen korreliert sind.

Zu diesen Themen wurden neue experimentelle Ergebnisse zu Spannungsmessungen bei Adsorption und Filmwachstum, Messungen der magnetischen Anisotropie und der magnetoelastischen Kopplung, sowie zur elektronischen und elastischen langreichweitigen Wechselwirkung an Oberflächen vorgestellt. In einem Abendvortrag wurden Anwendungen magnetoleastischer Bauelemente als Druck- und Drehmomentsensoren beschrieben.

Theoretische Beiträge haben eindrucksvoll gezeigt, dass mittlerweile das Verständnis relevanter elektronischer Prozesse, die Spannungen an Oberflächen und Grenzflächen bestimmen, weiter fortgeschritten ist. In Ergänzung zu bisherigen Modellen wurden Rechnungen diskutiert, die neben dem Ladungstransfer zwischen Adsorbat und Substrat auf die große Bedeutung der Symmetrie wechselwirkender elektronischer Orbitale für die resultierende Oberflächenspannungsänderung hinweisen.

Fortschritte in der numerischen Genauigkeit von first-principles-Rechnungen haben es außerdem ermöglicht, dass selbst die mit kleinsten Energieänderungen der Größenordnung $\text{sub-}\mu\text{eV}$ pro Atom verknüpften magnetischen Anisotropien berechnet werden können. So wurden erstmals Rechnungen zur Dehnungsabhängigkeit der magnetoelastischen Kopplung präsentiert, die die Interpretation der ebenfalls im Seminar vorgestellten Messungen der magnetoelastischen Kopplung in gedehnten Atomlagen auf eine über die phänomenologische Betrachtung hinausgehende, theoretisch fundierte Basis stellen.

DIRK SANDER, JÜRGEN KIRSCHNER

Exploring Quantum Physics**259. WE-Heraeus-Seminar**

Die Beobachtung kohärenter Quanteneffekte war lange Zeit der Quantenoptik vorbehalten. Beginnend mit ersten Interferenzexperimenten mit Elektronen und Neutronen,

später mit nichtklassischem Licht und Atomen, wurden zahlreiche Experimente zu den Grundlagen der Quantenmechanik durchgeführt. Mit der rasanten Entwicklung der Nanoelektronik gelangen aber in den letzten Jahren auch hier erstmals wichtige Experimente zur Komplementarität und Teilchenstatistik. Zusammen mit neueren Experimenten an neuen Halbleitersystemen und Supraleitern bilden sie den Ausgangspunkt für grundlegende Untersuchungen der Quantenphysik.

Das 259. WE-Heraeus-Seminar brachte vom 19.-22. 8. 2001 achtzig Wissenschaftler aus zahlreichen Fachbereichen zusammen mit dem Ziel, das Interesse für die unterschiedlichen Methoden zu wecken. 15 eingeladene Vorträge gaben einen Überblick über die unterschiedlichen Verfahren, der durch 15 Spezialvorträge und 28 Poster ergänzt wurde. Die Venice International University, eine Außenstelle der Ludwig-Maximilians-Universität München, bildete ein stimmungsvolle, anregende Umgebung. Trotz der beinahe unerträglichen Hitze kam es zu einem intensiven Austausch und zu neuen Kontakten quer über die Fachbereiche.

Der Bogen der Themen begann bei Weller-Weg-Experimenten mit Einzelelektronentransistoren und Quantenphänomenen in Josephson-Kontakten, Quantenpunkten und nano-elektronischen Systemen. Diese Experimente sind wegen ihrer potentiellen Integrationsmöglichkeiten natürlich auch für die Quanteninformation von großem Interesse. Auf dem Weg dorthin gibt es aber eine Vielzahl neuer Möglichkeiten und Experimente zur Quantenphysik. Die starke Kopplung der unterschiedlichen Quantensysteme erschwert zwar, verglichen mit bewährten Methoden der Quantenoptik, eine Beobachtung der Quantenkohärenz, bringt aber auch viele Vorteile für die zukünftige Erzeugung verschränkter Systeme. Derzeit ist die Untersuchung verschränkter Quantenteilchen nur wenigen Experimenten mit Atomen, Ionen und Photonen vorbehalten. In diesen Systemen konnten aber vor kurzem große Fortschritte erzielt und erstmals verschränkte Vier-Teilchen-Zustände erzeugt werden.

Präzisionsmessungen der Feinstrukturkonstanten, des magnetischen Moments von Elektronen sowie atomarer Übergänge bilden ein gutes Testfeld, um die Gültigkeit von Standardtheorien zu überprüfen, eröffnen aber auch zusammen mit neuen Methoden zur Frequenzmessung Anwendungen in verbesserten Zeitstandards. Einen weiteren Schwerpunkt bildeten schließlich Interferenzeffekte und Dekohärenz. Neutronen, Moleküle und Bose-Einstein-Kondensate bieten vielfältige Untersuchungsmöglichkeiten. Ergänzt werden diese durch gezielte, interferometrische Beeinflussung der Emissionswahrscheinlichkeiten von Atomen vor Spiegeln oder innerhalb eines Masers, die wiederum die Grundlage zur Erzeugung nichtklassischer Lichtzustände bilden.

Hat dieses reichhaltige Programm Ihr Interesse geweckt? Sie können noch alle Vor-

träge selbst mitverfolgen sowie durch die Poster spazieren auf den Web-Proceedings unter <http://xqp.physik.uni-muenchen.de/explore/index.html>.

HARALD WEINFURTER

Low Temperature Plasma Physics and Technology**260. WE-Heraeus-Seminar**

Die Niedertemperaturplasmaphysik ist die Grundlage der Plasmatechnik mit ihren heute nicht mehr wegzudenkenden Beiträgen in der Hochtechnologie. Beispiele sind die Herstellung mikroelektronischer Bausteine, die Abscheidung ultraharter Verschleiß-Schutzschichten, innovative Lampentechnik sowie die Medizin- und Umwelttechnik. Die Plasmatechnik wird als Schlüssel- und Querschnittstechnologie des 21. Jahrhunderts angesehen und verzeichnet eine hohe Nachfrage an gut ausgebildeten Experten.

Der Kurs (24.-28. 9. 2001) und die Masterclass (1./2. 10. 2001) im Physikzentrum Bad Honnef hatten das Ziel, Diplom- und MSc-Studenten im Hauptstudium sowie Doktoranden mit dem modernen Stand der Niedertemperaturplasmaphysik und ihren Anwendungen vertraut zu machen.

Die Kursveranstaltung der ersten Woche mit mehr als 60 Studenten (davon 33 aus dem Ausland) wurde durch Vorlesungen von 15 Dozenten aus 7 Ländern Europas gestaltet. Das Programm umfasste die Grundlagen der Plasmaphysik, die Behandlung moderner Hochfrequenz-Plasmaquellen, thermische und nicht-thermische Plasmen bei Atmosphärendruck, die theoretische Beschreibung der Elektronenkinetik, moderne Ansätze der Plasma-Modellierung durch PIC- und Monte-Carlo-Verfahren, Plasmadiagnostik, die Diskussion der Besonderheiten von molekularen Plasmen bis hin zu Mechanismen der Plasma-Oberflächen-Wechselwirkung. Es fanden zwei abendliche Postersitzungen statt, bei denen die Studierenden ihre eigenen Arbeiten vorgestellt haben.

Das Vertiefungsthema der Masterclass *Dusty Plasmas* ist ein hochaktuelles Gebiet der modernen Plasmaphysik, das seit einigen Jahren stetiges und schnell wachsendes Interesse findet. Die Beiträge umspannten spannende Fragen der physikalischen Grundlagen der stark gekoppelten komplexen Plasmen über neueste Experimente unter Schwerelosigkeit in der Raumstation ISS bis hin zu technischen Anwendungen von plasma-behandelten Nanopartikeln. Sie wurden von Spitzenforschern aus Europa auf hohem wissenschaftlichen und didaktischen Niveau behandelt und wurden von den Studenten begeistert aufgenommen. An der Masterclass nahmen 30 Studenten und 7 Dozenten teil.

Die Teilnehmer der Sommerschule und der Masterclass bildeten eine harmonische internationale Gemeinschaft. Die Studenten waren hochmotiviert und bewerteten es als besonders wichtig, dass Dozenten und Studenten unter einem Dach gewohnt und gearbeitet haben. Die gute Aufnahme dieser Veranstaltungen und die große Nachfrage sind Motivation, eine Folgeveranstaltung für 2002 zu planen.

Der wissenschaftliche Leiter (Prof. Dr. J. Winter, Ruhr-Universität Bochum) dankt im

PD Dr. Dirk Sander
Prof. Dr. Jürgen Kirschner, Max-Planck-Institut für Mikrostrukturphysik, Halle

Prof. Dr. Harald Weinfurter, LMU München, Sektion Physik, Schellingsstraße 4/III, D-80799 München

Namen aller Teilnehmer der WE-Heraeus Stiftung und den anderen Institutionen die geholfen haben, diese Veranstaltung zu verwirklichen (Ruhr-Universität Bochum, CPS TU-Eindhoven, AG Plasmaphysik, Graduiertenkolleg Hochtemperaturplasmaphysik).

JÖRG WINTER

Modern Aspects of Many-Electron Theory 262. WE-Heraeus-Seminar

Ziel dieses Seminars vom 21.–24. 10. 2001 in Bad Honnef war ein Meinungs- und Erfahrungsaustausch zwischen Vertretern aktueller Methoden der Mehrelektronentheorie von Molekülen und Festkörpern, sowohl von etablierten Verfahren wie coupled-cluster (CC) oder Dichtefunktionaltheorie (DFT), als auch von neuen Ansätzen, bei denen die reduzierten Dichtematrizen die zentrale Rolle spielen.

Eine Reihe von Fortschritten auf dem CC-Gebiet wurden präsentiert, z. B. Ergebnisse von variationellen CC-Rechnungen, die lange für undurchführbar galten (J. Olsen). Im Rahmen von DFT ging es einerseits um ihre mathematischen Grundlagen, ausgehend von der Analysis konvexer Funktionale (H. Eschrig), andererseits um die Herleitung „exakter“ Austausch-Korrelationspotentiale aus ab-initio-Rechnungen (E. J. Baerends, R. Bartlett), aus störungstheoretischen Überlegungen (A. Görling) oder im Rahmen orbitalabhängiger Funktionale (E. K. U. Groß). Es fiel auf, dass sich die aus herkömmlichen Funktionalen erhaltenen Kohn-Sham-Potentiale in wesentlichen Aspekten von ihren exakten Entsprechungen unterscheiden.

Der Rechenaufwand bei konventionellen Verfahren skaliert ungünstig mit der Zahl n der Atome im Molekül. Auf dem Wege in die Richtung „Lineare Skalierung“ mit n sind erhebliche Fortschritte erzielt worden (H. J. Werner, M. Head-Gordon). Die sog. dynamische oder kurzreichweitige Korrelation verlangt in traditionellen Ansätzen große Basisätze, und die Konvergenz ist langsam. Dagegen lässt sich eine hohe Genauigkeit bei vertretbarem Rechenaufwand mit Ansätzen erzielen, bei denen die Wellenfunktion explizit von den interelektronischen Koordinaten abhängt (W. Klopper, P. Taylor, S. Tenno).

Auf halbem Wege zwischen ab-initio- und DFT-Verfahren stehen erfolgversprechende Ansätze, bei denen die Einteilchen-Dichtematrix (S. Goedecker, K. Yasuda), die Zweiteilchen-Dichtematrix (A. J. Coleman, H. Nakatsuji), oder die Kumulanten der reduzierten Dichtematrizen (W. Kutzelnigg, D. Mukherjee) im Mittelpunkt stehen. Das bisher hinderliche sog. n -Repräsentierbarkeitsproblem für die Zwei-Teilchen-Dichtematrix ist offenbar gelöst (A. J. Coleman).

In zwei Podiumsdiskussionen ging es u. a. darum, was ab-initio-Quantenchemie und DFT voneinander lernen können, und in welche Richtung zukünftige Entwicklungen vermutlich gehen werden. Insgesamt gab es einen regen Meinungs- und Erfahrungsaustausch zwischen Vertretern verschiedener Bereiche der Theoretischen Physik, der Theoretischen Chemie und der Mathematik, die normalerweise nicht miteinander reden.

WERNER KUTZELNIGG

Electronic Nanostructures DPG-Schule für Physik

Seit Bestehen des Physikzentrums in Bad Honnef sind die Schulen der DPG zu einem festen Bestandteil des Veranstaltungskalenders und auch meiner Planung geworden. Sie richten sich vorzugsweise an Studenten, aber auch andere Teilnehmer werden gern gesehen (der Autor ist Industrie-Physiker). Die Schulen bieten die Möglichkeit, sich schnell von kompetenter Seite über ein Gebiet der Physik zu informieren. Dabei ist es der DPG bisher regelmäßig gelungen, solche Arbeitsfelder auszuwählen, die gerade im Brennpunkt des Interesses liegen, so auch dieses Mal mit dem Thema *Electronic Nanostructures*.

Die Schule fand vom 5. bis 12. Oktober statt. Am Anfang der Vortragsreihe standen die Effekte, die den Bereich der elektronischen Nanostrukturen definieren. Darauf folgten mögliche und tatsächliche Realisierungen, die aus den gewonnenen Erkenntnissen heraus entstehen. Abgeschlossen wurde sie durch zwei eher in die Zukunft gerichtete Vorträge zum Quantencomputer. Die Schule wurde von Bernhard Kramer (Uni Hamburg) vorbereitet und geleitet.

Nanostrukturen liegen vor, wenn die Abmessungen im Bereich von einigen Atomdurchmessern liegen. Reduziert man eine der drei Dimensionen eines Körpers auf diese Größenordnung, so gelangt man in das Regime des zweidimensionalen Elektronengases (2DEG). Nimmt man eine weitere Dimension weg, so erhält man einen Quantendraht, um schließlich, nach Reduktion der dritten Dimension, zu den Quantenpunkten zu gelangen. Alle drei Reduktionen wurden in der Schule diskutiert. Interessant für den Industrie-Physiker ist dabei insbesondere die Tatsache, dass es sich nicht nur um schöne Theorie und aufregende Experimente handelt, sondern dass die ersten Anwendungen aus diesem Forschungsbereich bereits für jedermann verfügbar sind bzw. vor der kommerziellen Nutzung stehen.

Rolf Haug (Uni Hannover) eröffnete die Schule mit der Diskussion des Quanten-Halleffektes (QHE), dem wohl bekanntesten Effekt aus dem Regime des 2DEG. Mit dem Vortrag von Ulrich Rössler (Uni Regensburg) ging es dann direkt in die Welt des 2DEG, mit dessen Hilfe der QHE erklärt wird. Jürgen Smet (MPI für Festkörperforschung, Stuttgart) stellte anschließend das Modell der *Composite Fermions* (CF) und die damit bisher erzielten experimentellen Resultate vor. Bei den CF handelt es sich um Gebilde, die dadurch entstehen, dass Elektronen mit den Flusslinien des angelegten Magnetfeldes eine „Teilchengemeinschaft“ eingehen. Spätestens beim Vortrag *Theory of CF* von Peter Wölflle wurde dem armen Industrie-Physiker dann auch klar, wie schwierig die Materie zu handhaben ist. Die Feststellung, dass auch die Kollegen, die sich intensiver mit der Materie auseinandersetzen, hier viel Diskussionsbedarf sehen, half diese Erkenntnis etwas leichter zu ertragen.

Eindimensionale Quantendrähte lassen sich auf verschiedene Arten realisieren. Diskutiert wurden von Christian Schönenberger (Uni Basel) sowohl die Herstellung von *Carbon Nanotubes* als auch Messungen daran. Maura Sasseti (Uni Genua) behandelte in ihren beiden Vorträgen die *Non Fermi Qu-*

wires. Schließlich wurden von David Wharam (Uni Tübingen) die Möglichkeiten dargestellt, zu Quantendrähten mithilfe der Techniken aus der Halbleitertechnik zu kommen. In seinem Vortrag *Selfconsistent Electron Theory* stellte Michael Springborg (Uni Saarbrücken) ein numerisches Modell zur Beschreibung von Quantendrähten vor, das bereits eine ganze Reihe von beobachteten Effekten an Quantendrähten gut zu reproduzieren vermag.

Für den Industrie-Physiker wird es immer dann interessant, wenn sich aus den Forschungsergebnissen Perspektiven für mögliche Anwendungen ergeben. Michael Oestreich (Uni Hannover) ging auf die Möglichkeit ein, bei der Erzeugung von Laserlicht auszunutzen, dass dessen Polarisation von der Polarisation der Spins der die Emission auslösenden Elektronen abhängt. Der Spin des Elektrons ist auch für die magnetischen Eigenschaften von Stoffen verantwortlich. Patrick Bruno (MPI für Mikrostrukturphysik, Halle) zeigte, wie man daraus im Zusammenhang mit dem GMR-Effekt Nutzen ziehen kann. In einem weiteren anwendungsorientierten Vortrag ging Ralf Wehrspohn, ebenfalls aus Halle, auf die Möglichkeiten ein, die die sog. photonischen Kristalle eröffnen.

Quantenpunkte lassen sich mithilfe einzelner Atome, mit Halbleiterstrukturen geeigneter Abmessungen oder etwa auch als hinreichend kleine ringförmige Supraleiter realisieren. Sollen sie in der Elektronik/Photonik eingesetzt werden, so sind insbesondere ihre Transporteigenschaften von Interesse. Richard Warburton (Uni Edinburgh) ging auf die hierzu notwendige *Qudot Spectroscopy* ein. Ein Thema, das Tobias Brandes (Uni Manchester) mit seinem Beitrag *Nonlinear Transport in Qudots* vervollständigte. Die Herstellung von monoatomaren Kontakten und die damit gemachten Messungen zum Transport in einzelnen Atomen wurden von Elke Scheer (Uni Konstanz) vorgestellt und diskutiert. Wolfgang Belzig (Uni Basel) ging dann auf supraleitende Quantenpunkte ein.

In seinem Abendvortrag *Nanomagnetism* zeigte Hans Peter Oepen (Uni Hamburg) sehr eindringlich, wie sich mit Nano-Technik höchstintegrierte nicht-flüchtige magnetische Speicher realisieren lassen. Aber auch für den Computer selbst könnte die mit elektronischen Nanostrukturen verknüpfte Quantenmechanik eine Revolution bedeuten. Carlo W. J. Beenakker (Uni Leiden) ging mit großer Leidenschaft darauf ein, was die Nutzung von Quanteneffekten für die Rechnerlogik bedeutet. Den Schlusspunkt der höchstinteressanten Woche setzte Yuriy Makhlin (Uni Karlsruhe) mit seinem Vortrag über *Josephson Qubits*. Sie gelten als die aussichtsreichsten Kandidaten, um die für die Quantenlogik notwendige Überlagerung der Zustände zu realisieren.

Der Autor hat sich nach dem letzten Vortrag mit dem guten Gefühl auf den Heimweg gemacht, dass sich die Teilnahme an dieser Schule für ihn gelohnt hat, und er ist sich sicher, dass er mit diesem Gefühl nicht alleine da steht. Charakteristisch für die Schulen ist es, dass die Logistik im Hintergrund reibungslos funktioniert. Ein herzliches Danke daher noch den guten Geistern des Hauses, die fast unbemerkt mitgeholfen haben, diese Schule zu einem Erfolg werden zu lassen.

KLAUS HÜNLICH

Prof. Dr. Jörg Winter, Institut für Experimentalphysik II, Fakultät für Physik und Astronomie, Ruhr-Universität Bochum, D-44780 Bochum

Prof. Dr. Werner Kutzelnigg, Ruhr-Universität Bochum, Theoretische Chemie, D-44780 Bochum

Dr. Klaus Hünlich, Siemens ICN, München

