

Merging Micro- and Nano-Optics: 3D Printing for Advanced and Functional Optics

634. WE-Heraeus-Seminar

Der 3D-Druck von Mikro- und Nano-Optiken hat in den letzten Jahren wesentlich an Bedeutung gewonnen. Das direkte Laserschreiben mithilfe von Femtosekundenlasern und die Polymerisation von Photolacken durch Zweiphotonenabsorption eröffneten völlig neue Möglichkeiten in der additiven Fertigung. Dazu zählen besonders die Fertigung von optischen Freiformflächen und neuen, kompakten optischen Bauelementen, die sowohl refraktiv als auch diffraktiv arbeiten und die Polarisation beeinflussen. 72 Teilnehmer aus aller Welt fanden sich zum dreitägigen Seminar ein, um die neuesten Entwicklungen vorzustellen und die Perspektiven in diesem sich rapide entwickelnden Gebiet auszuloten. Bemerkenswert war das große Interesse von Industrieteilnehmern und Startup-Unternehmen.

Die 20 eingeladenen Vorträge und 21 Posterbeiträge stellten Themen vor wie gedruckte Proteinassemblierung für intelligente Mikro- und Nanoroboter, den Einsatz von Mikrofluidik für aktive optische Bauelemente, die Kombination von Mikro- und Nanooptik für die kleinsten Mikroskop-Objektive der Welt, Anwendungen in der Biophotonik sowie den Einsatz von 3D-gedruckten photonischen Bauelementen für die Optoelektronik. Die Technologie befindet sich in einer stürmischen Entwicklungsphase – daher waren z. B. eine höhere Auflösung beim Schreiben, die Entwicklung neuer organischer und anorganischer Materialien, das Schreiben von anderen Materialien als Polymeren (z. B. Metalle oder Halbleiter) und die Oberflächenqualität nach dem Schreiben wichtige Themen.

Besonders spannend ist der Einsatz in der Endoskopie. Die Möglichkeiten und Notwendigkeiten der Endoskopie, z. B. direkt am Fötus oder bei Kindern, zeigen, wie wichtig das Thema für den High-Tech-Standort Deutschland ist. Zudem kommen die Schlüsselentwicklungen auf der Material-, der Geräte-, der Forschungs- und der Anwenderseite alle aus Deutschland. Auch für die Sensorik und in der Displaytechnologie beim Einsatz in augmentierter und virtueller Realität spielen miniaturisierte Mikro- und Nano-optiken eine entscheidende Rolle und versprechen einen Milliardenmarkt. Daher erstaunt es nicht, dass auch die Technologieführer im 3D-Druck, die selbst noch vor wenigen Jahren in der akademischen Forschung tätig waren, unter den Vortragenden waren.

Besonders erfreulich war die Tatsache, dass sich bei der abschließenden Paneldiskussion mehrere Studierende meldeten, die sich die Ausgründung eines Startups

im Bereich 3D-gedruckter Mikro- und Nanooptik vorstellen könnten. Wir danken der WE-Heraeus-Stiftung herzlich für die Unterstützung!

Harald Giessen und Alois Herkommer

Scalable Architectures for Quantum Simulation

635. WE-Heraeus-Seminar

Quantensimulationen haben zum Ziel, mithilfe eines gut kontrollierbaren Quantensystems einen bekannten, aber mit klassischen Mitteln nicht lösaren Problem-Hamiltonian zu simulieren. Schon heute forschen Firmen wie Google und IBM intensiv daran, einen universellen Quantencomputer zu realisieren, der sich für Quantensimulationen eignet. Jedoch zeichnet sich ab, dass die nötige Fehlerkorrektur einen signifikanten Zusatzaufwand bedeutet und man viele tausende, wenn nicht sogar Millionen gut kontrollierbare Qubits braucht, um ein erstes nützliches System zu bauen. Der derzeitige Stand der Technik erlaubt hingegen nur Plattformen mit einigen wenigen Qubits. Trotzdem ist es schon jetzt äußerst interessant zu überlegen, welche physikalischen Fragestellungen sich mit einem Quantensimulator mit einigen Dutzend Qubits und einer endlichen Fehlerrate lösen lassen. Von großem Interesse sind hier insbesondere Probleme der Quantenchemie, Modellsysteme wie das Fermi-Hubbard-Modell, aber auch klassische (NP-)harte Optimierungsprobleme. Außerdem gilt es herauszufinden, welche Hürden für mittlere bis große kohärente Quantensysteme zu überwinden sind.

Das Seminar, welches vom 29. Januar bis 2. Februar im Physikzentrum Bad Honnef stattfand, brachte Wissenschaftler aus Universitäten und Industrie zusammen, welche mit unterschiedlichen Qubit-Implementationen (Ionenfallen, kalten Gasen, supraleitenden Qubits, Halbleiter-Quantenpunkten und Photonen) an skalierbaren Quantensystemen forschen. Alan Aspuru-Guzik (Harvard) eröffnete das Seminar mit einem eindrucksvollen Vortrag zur Bedeutung der skalierbaren Simulation von Materie und den damit verbundenen möglichen Einsatzgebieten und Anforderungen eines Quantenrechners. Neben vielen Quantenphysikern aus dem akademischen Umfeld zeigten auch Forscher aus der Industrie (Google, IBM, Microsoft und D-Wave), in welcher Richtung sie erste Anwendungen von Quantenrechnern sehen. Jüngere Forscher hatten während der Postersitzung die Möglichkeit, sich mit ihren erfahreneren Kollegen auszutauschen und Kontakte zu knüpfen. Hilfreich war hierbei die exzellente Atmosphäre und Organisation im Physikzentrum. In einer angeregten Paneldiskussion wurden Vor- und Nach-

teile der verschiedenen Quantensysteme diskutiert, vor allem im Hinblick auf mögliche Anwendungsgebiete und Skalierbarkeit. Die Vorträge und die Diskussion machten deutlich, dass der Bau eines Quantenrechners eine enorm komplexe Aufgabe ist, die sich nur mithilfe einer breiten interdisziplinären Zusammenarbeit bewältigen lässt. Einigkeit bestand jedoch darin, dass schon in wenigen Jahren erste Quantensysteme mit etwa 50 Qubits einige spezifische Probleme schneller lösen werden als herkömmliche Großrechner.

Wir bedanken uns bei der Wilhelm und Else-Heraeus-Stiftung für die großzügige Unterstützung des Seminars und die exzellente Hilfe bei der Organisation.

Andreas Fuhrer, Stefan Filipp, David DiVincenzo und Frank Wilhelm-Mauch

Quantum-Limited Metrology and Sensing

636. WE-Heraeus-Seminar

Metrologie und Messtechnik können eine höhere Präzision erreichen, wenn eine größere Zahl an Quanten, z. B. Photonen oder Atome, genutzt werden. Damit ergibt sich die typische technologische Herausforderung, eine möglichst hohe Anzahl an Quanten kontrolliert einzusetzen. Beispielsweise versucht man, in Gravitationswellendetektoren immer höhere Lichtleistungen zu verwenden. Parallel dazu gibt es einen zweiten Ansatz: Quanten gehören zu bestimmten quantenmechanischen Zuständen, und bei konstanter Quantenzahl lässt sich die Präzision mithilfe von geeigneteren Quantenzuständen erhöhen. Die Beschränkungen auf bestimmte Zustände ergeben sog. Quantenlimits. Ein Überwinden erfordert einen qualitativ anderen Quantenzustand und in der Regel anspruchsvollere Technologie.

Unglücklicherweise haben sich zum einen unterschiedliche Namen für Quantenlimits eingebürgert, zum anderen wird z. B. der Begriff „Standard-Quantenlimit“ nicht einheitlich benutzt. Das Hauptziel des Seminars, das vom 6. bis 9. Februar 2017 im Physikzentrum Bad Honnef stattfand, war es, zunächst die unterschiedlichen Termini zu benennen und darauf aufbauend die Relation der Quantenlimits untereinander zu diskutieren. Dazu waren 20 Sprecher, u. a. aus den Bereichen Gravitationswellendetektion, Optomechanik, Halbleiteroptik und optische Uhren eingeladen. Die fachliche und didaktische Qualität der Vorträge war ausnahmslos hervorragend. Emil Schreiber (AEI, Hannover) beschrieb den experimentellen Weg zu mittlerweile 4,3-dB-gequetschtem Schrotrauschen in GEO600. Cindy Regal (JILA, Boulder) zeigte, wie man Quantenstrahlungsdruckrauschen mit einer Membran zuverlässig beobachten kann.

Prof. Dr. Harald Giessen und Prof. Dr. Alois Herkommer, 4. Physikalisches Institut und Institut für Technische Optik, Research Center SCoPE, Universität Stuttgart

Dr. Andreas Fuhrer, Dr. Stefan Filipp, IBM Rüsclikon; Prof. Dr. David DiVincenzo, FZ Jülich; Prof. Dr. Frank Wilhelm-Mauch, U Saarbrücken