

Januar 2021

Masterarbeit:

Außergewöhnlich hohe Ladungsträgerbeweglichkeit in Graphen

Motivation: Hohe Ladungsträgerbeweglichkeiten spielen eine fundamentale Rolle in der Hochfrequenzelektronik, der integrierten Optoelektronik sowie in Sensor- und Spintronik-Anwendungen, bei denen die Leistungsfähigkeit der Bauelemente direkt mit der Ladungsträgerbeweglichkeit zusammenhängt. Van-der-Waals-Heterostrukturen aus Graphen und hexagonalem Bornitrid (hBN) übertreffen bereits jetzt alle bekannten Materialien in Bezug auf die Ladungsträgerbeweglichkeit bei Raumtemperatur. Unsere Gruppe hat kürzlich gezeigt, dass die Ladungsträgerbeweglichkeit der derzeit besten Graphen-hBN-Heterostrukturen um mehr als den Faktor drei übertroffen werden kann, wenn man einen der hBN-Kristalle durch Wolframdiselenid (WSe_2) ersetzt. Solche Heterostrukturen (siehe Abbildung 1) können eine Elektronenbeweglichkeit von bis zu $350.000 \text{ cm}^2/(\text{Vs})$ und Widerstände von 15Ω bei Raumtemperatur aufweisen. Der spezifische Widerstand dieser Bauelemente zeigt eine viel geringere Temperaturabhängigkeit als der von Graphen auf jedem anderen bisher untersuchten Substrat. Der Ursprung dieses Verhaltens deutet auf eine modifizierte Phononendispersion und stellt unser derzeitiges Verständnis der Elektron-Phononen-Streuung in van der Waals-Heterostrukturen in Frage.

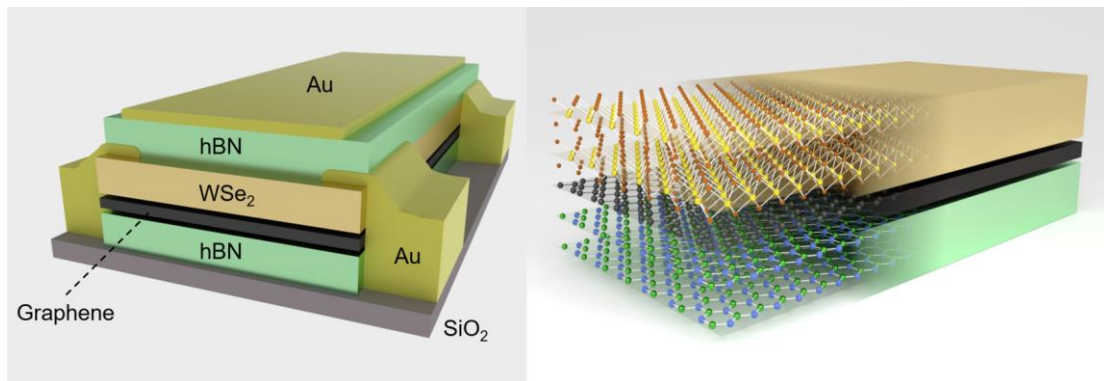
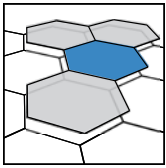


Abb. 1: Illustration einer hBN-Graphen-Wolframdiselenid-van-der-Waals-Heterostruktur mit metallischen Kontakten.

Ziel der Arbeit: Ziel dieser Masterarbeit ist es, die Ursache für dieses äußerst überraschende und interessante Phänomen zu finden und offene Fragen zur Elektron-Phonon-Wechselwirkung in 2D-Heterostrukturen zu klären. Sie werden die bestehende Technologie solcher Bauelemente in Richtung der Herstellung größerer und sauberer Bauelemente erweitern. Die Methoden werden mit Hilfe eines vollautomatischen Systems entwickelt, welches sich in einer Glovebox mit inerter Atmosphäre befindet. Die Fabrikation beinhaltet die Präparation und automatisierte Suche nach verschiedenen 2d-Kristallen durch die Implementierung von Algorithmen auf der Basis von neuronalen Netzen zur Bildverarbeitung sowie die Verwendung modernster Halbleiterfertigungstechnologien zur Strukturierung der hergestellten van-der-Waals-Heterostrukturen zu Hall-Bars. Die fabrizierten Bauelemente werden dann mittels Raman-Mikroskopie und Rasterkraftmikroskopie charakterisiert. Die modifizierte Elektron-Phonon-Wechselwirkung wird dann direkt durch temperaturabhängige (1,6 K - 300 K) elektronische Transportmessungen untersucht. Außerdem nehmen Sie an Gruppenseminaren und Journal Clubs teil, um aktuelle Entwicklungen in diesem Forschungsbereich zu diskutieren. Je nach eigenen Interessen können wir einen Schwerpunkt auf Fabrikation, Messung oder Programmierung setzen.

Kontaktieren Sie uns: Für weitere Informationen und bei Interesse wenden Sie sich bitte an Christoph Stampfer (stampfer@physik.rwth-aachen.de) oder Taoufiq Ouaj (taoufiq.ouaj@rwth-aachen.de). Weitere Informationen über unsere Arbeit finden Sie auch unter www.stampferlab.org und www.graphene.ac.



January 2021

Master thesis: Exceptionally high charge carrier mobility in graphene

Motivation: High carrier mobilities play a fundamental role in high-frequency electronics, integrated optoelectronics, and sensor and spintronics applications where device performance is directly related to the carrier mobility. Van der Waals heterostructures of graphene and hexagonal boron nitride (hBN) already outperform all known materials in terms of carrier mobility at room temperature. Our group has recently shown that the carrier mobility of today's best graphene-hBN heterostructures can be exceeded by more than a factor of three by replacing an hBN crystal with tungsten diselenide (WSe₂). Such heterostructures (see Figure 1) can have an electron mobility of up to 350,000 cm²/(Vs) and resistances of down to 15 Ω at room temperature. The specific resistance of these devices shows a much lower temperature dependence than that of graphene on any other substrate investigated so far. The origin of this behavior refers to a modified phonon band structure and questions our current understanding of electron-phonon scattering in van der Waals heterostructures.

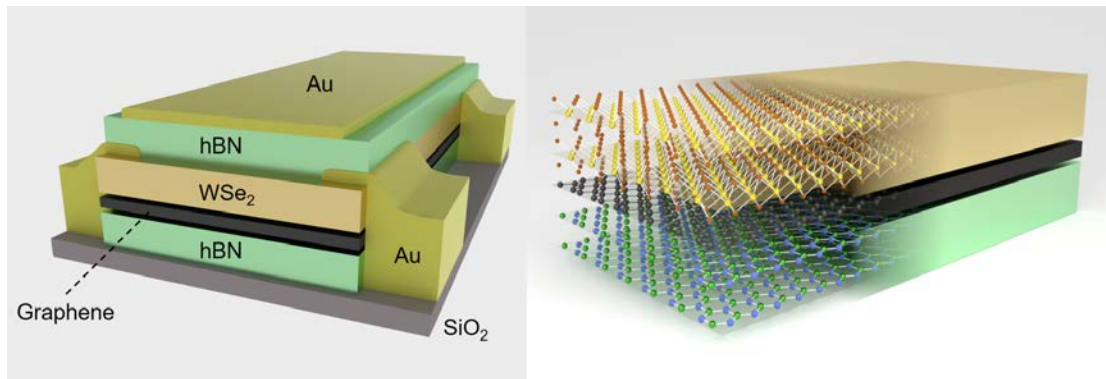


Figure 1: Illustration of an hBN graphene tungsten diselenide van der Waals heterostructure with metallic contacts.

Aim of the thesis: The aim of this master thesis is to find the underlying cause of this extremely surprising and interesting phenomenon and to clarify open questions on the electron-phonon interaction in 2D heterostructures. You will extend the existing technology of such devices towards fabrication of larger and cleaner devices. The methods will be developed using a fully automated system located in a glovebox with an inert atmosphere. This includes the preparation and automated search for various 2D crystals by implementing computational methods based on neural networks for image processing as well as using state-of-the-art semiconductor manufacturing technologies to structure the assembled van-der-Waals heterostructures into Hall bars. The assembled devices will then be characterized using Raman microscopy and atomic force microscopy. The modified electron phonon interaction is then investigated directly by temperature dependent (1.6 K – 300 K) electronic transport measurements.

You will also take part in group seminars and journal clubs to discuss current developments in this field of research.

Depending on your own interests we can set a focus on either fabrication, measurements or programming.

Contact us: For further information and interest please contact Christoph Stampfer (stampfer@physik.rwth-aachen.de) or Taoufiq Ouaj (taoufiq.ouaj@rwth-aachen.de). More information about our work can also be found at www.stampferlab.org and www.graphene.ac.