

September 2020

## Masterarbeit: Ultrafast optical spectroscopy of 2D heterostructures

**Motivation:** The two-dimensional semiconductors of the family of transition metal dichalcogenides ( $\text{MX}_2$ , where  $\text{M}=\text{Mo}/\text{W}$  and  $\text{X}=\text{S}/\text{Se}$ ) show a plethora of unique and highly interesting properties. Among them is their electronic structure, which possesses two distinguishable minima and maxima of the valence and conduction band, respectively (also referred to as valleys). Transitions at these dissimilar valleys can be selectively excited and read out using polarized light. Furthermore, they host many-body-states, such as excitons, with extremely high binding energies. This combination makes them interesting for novel opto-electronic applications and for basic research alike.

Furthermore, one can combine different 2D materials into vertical stacks, through which a wealth of novel properties can be engineered. Of particular interest are heterostructures with small twist angles, as here periodic superstructures (moiré-patterns) are created (see Fig. 1a). In this project, twisted heterostructures will be investigated using ultrafast optical spectroscopy, which will yield information of the dynamics of excitons and carriers in those systems.

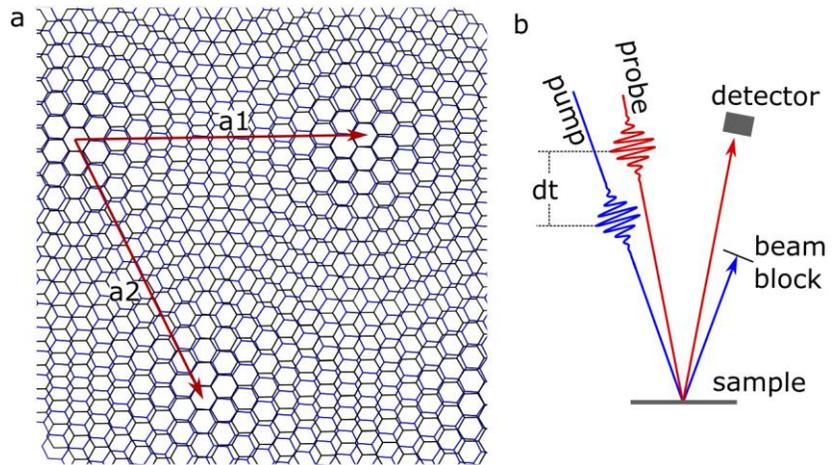


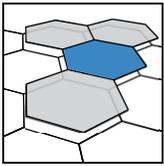
Figure 1: a) Moiré-pattern formed by a twisted double layer of (hexagonal) 2D materials. b) Working principle of ultrafast spectroscopy: a laser pulse (pump) excites the material, and a second pulse (probe) arrives at a time difference  $dt$ . The change of optical properties can now be measured as a function of  $dt$ .

**Goal of the thesis:** The aim of this master thesis is to measure the dynamics of excitons in twisted heterostructures using optical pump-probe spectroscopy. In particular, setting up an experiment for parallel and broadband measurements of the dynamics is part of this work.

**Your tasks:** Your task will include to build a setup for optical pump-probe spectroscopy as well as the preparation of heterostructure samples via exfoliation of 2D materials. The production of your samples will be performed in our laboratories, including our clean room facility. For the optical experiments, you will have access to our laser laboratory, in which you will set up the experiment. Furthermore, you will be able to expand your knowledge in following topics:

- Working with state-of-the-art semiconductor manufacturing technologies in cleanroom research facilities
- Various optical spectroscopic techniques
- Operation and understanding of vacuum and low-temperature ( $\sim 10\text{K}$ ) setups
- Consolidation of your knowledge about the fundamental physics of electronic band structures, 2D materials, physics of excitons and simple electronic components. You will also take part in group seminars and journal clubs to discuss current developments in this field of research.

**Contact:** For further information and interest please contact Lutz Waldecker ([waldecker@physik.rwth-aachen.de](mailto:waldecker@physik.rwth-aachen.de)). You can also find information on our work at [www.stampferlab.org](http://www.stampferlab.org).



September 2020

## Masterarbeit: Optische Ultrakurzzeitspektroskopie an 2D Heterostrukturen

**Motivation:** Die zweidimensionalen (2D) Halbleiter aus der Familie der Übergangsmetall-dichalkogenide ( $\text{MX}_2$ , wobei  $\text{M}=\text{Mo}/\text{W}$  und  $\text{X}=\text{S}/\text{Se}$ ) besitzen eine Fülle höchst interessanter und einzigartiger Eigenschaften. Hierzu gehört deren elektronische Struktur, welche zwei unterschiedliche Minima und Maxima („valleys“) der Valenz- und Leitungsbänder aufweist. Übergänge in den ungleichen valleys können optisch selektiv angeregt und ausgelesen werden. Zudem existieren Vielteilchenzustände, so wie Exzitonen, mit extrem hohen Bindungsenergien. Dies macht diese Materialien gleichermaßen interessant für neuartige opto-elektronische Anwendung sowie für Grundlagenexperimente.

Darüber hinaus lassen sich 2D Materialien zu vertikalen Strukturen stapeln, wodurch eine Reihe neuer Eigenschaften kreiert werden können. Besonders interessant sind Heterostrukturen mit kleinen Verdrehwinkeln, da hier periodische Superstrukturen (moiré-Strukturen) entstehen (siehe Fig. 1a). In diesem Projekt sollen verdrehte Heterostrukturen mittels optischer Spektroskopie und Ultrakurzzeitspektroskopie untersucht werden, die Aufschluss über exzitonische Eigenschaften in diesen Heterostrukturen sowie über Ladungsträgerseparation geben.

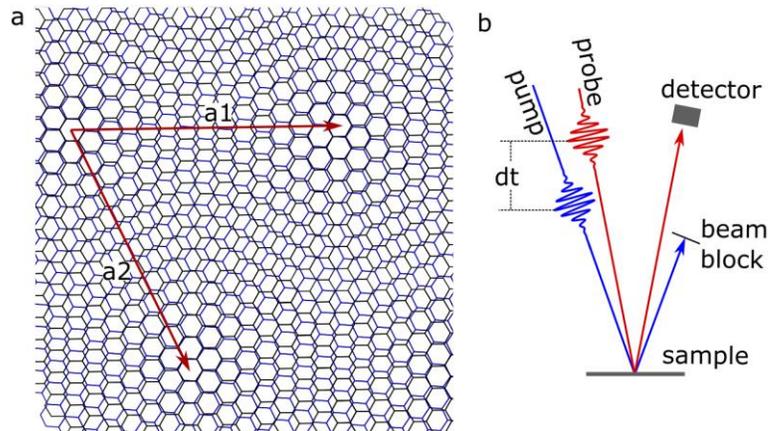


Abbildung 1: a) Moiré-Struktur in verdrehten (hexagonalen) Doppellagen von 2D Materialien. b) Prinzip der optischen Ultrakurzzeitspektroskopie: Ein Puls (pump) erzeugt eine Anregung in der Probe, ein zweiter Puls (probe) trifft mit Verzögerung  $dt$  ein. Die Veränderung der Reflektion wird als Funktion von  $dt$  gemessen.

**Ziel der Arbeit:** Ziel dieser Masterarbeit ist es die Dynamik von exzitonischen Zuständen in verdrehten Heterostrukturen mithilfe zeitaufgelöster optischer Spektroskopie zu untersuchen. Insbesondere ist der Aufbau eines Systems zur breitbandigen Messung der Dynamik Teil dieser Arbeit.

**Ihre Aufgabe:** Ihre Aufgabe umfasst den Aufbau eines optischen Experimentes zur optischen pump-probe Spektroskopie sowie die Herstellung von Proben durch exfolieren von 2D Kristallen. Die Fertigung der Proben werden in unseren Laboren, inklusive eines Reinraumlabor, vorgenommen werden. Für die optischen Messungen steht ein Laserlabor zur Verfügung, in dem Sie das neue Experiment aufbauen werden. In diesem Projekt können Sie außerdem Ihre Kenntnisse in folgenden Themen erweitern

- Arbeiten mit modernsten Halbleiterfertigungstechnologien in Reinraumforschungseinrichtungen
- Verständnis verschiedener optischer Spektroskopischer Messtechniken
- Betrieb und Verständnis von Vakuum- und Niedrigtemperaturaufbauten ( $\sim 10$  K)
- Vertiefung des Verständnisses der grundlegenden Physik elektronischer Bandstrukturen, 2D Materialien und Physik von Exzitonischen Zuständen

Darüber hinaus nehmen Sie an Gruppenseminaren und Journal-Clubs teil, um aktuelle Entwicklungen in diesem Forschungsgebiet zu diskutieren.

**Kontakt:** Für weitere Informationen und Interesse am Projekt kontaktieren Sie bitte Lutz Waldecker ([waldecker@physik.rwth-aachen.de](mailto:waldecker@physik.rwth-aachen.de)). Mehr Information zu unserer Arbeit können Sie auch unter [www.stampferlab.org](http://www.stampferlab.org) finden.