

Raman scattering in thin layers of molybdenum telluride (MoTe₂)

Dissertation abstract

Magdalena Grzeszczyk

Obtaining a single layer of carbon atoms - graphene - initiated a new trend in science focusing on two-dimensional structures of well-known bulk materials. In addition, rapid advances in mechanical exfoliation techniques have contributed to increased interest in layered materials, including transition metal dichalcogenides (TMD). The variety of chemico-physical properties distinguishes these materials with an extremely wide range of possible applications in the fields of electronics, optoelectronics, photovoltaics. They can also be used in medicine and biological sensors.

The aim of this work is the characterization of optical properties as a function of the thickness of a typical representative from semiconducting TMD family. Molybdenum ditelluride (MoTe₂) was chosen since it remains relatively poorly known as compared to other TMDs like MoS₂. The research conducted as part of the thesis is focused on Raman scattering spectroscopy. This technique relies on measurements of light scattered on a crystal, yielding information on crystal lattice dynamics, heat propagation and mechanical strength. Raman scattering spectroscopy primarily remains an important method to determine the thickness of the examined flakes.

The doctoral dissertation contains ten chapters.

Chapter 1 is a review of general information on 2D materials, in particular semiconducting TMDs. Due to the breadth of the topic, the focus is on selected aspects that are particularly relevant to the work.

Chapter 2 focuses on properties of MoTe₂ in the bulk form and its thin layers. Its crystal and bandwidth structure and dependencies of phonon dispersion are presented. These characteristics are the basis for understanding the presented results.

Chapter 3 demonstrates a wide range of methods of obtaining the materials in question and techniques of their characterization.

Chapter 4 provides a theoretical description of the basics of Raman scattering spectroscopy and group theory notation needed to understand the analysis performed in the following chapters.

Chapter 5 contains a detailed description of the method of fabrication of the samples used in the study. Experimental setups are also presented.

In Chapter 6, the identification of phonon modes has been carried out, which enables determination of the thin layer thickness based on Raman scattering spectra.

Chapter 7 contains results obtained during the measurement of the samples with different number of layers. Based on these results, low energy phonons in thin layers MoTe_2 and its heterostructures were analyzed, which made it possible to determine the force constants of layer-layer and layer-substrate interactions. Additionally, splitting of phonon modes caused by the Davydov effect and the interaction with the substrate were described.

Chapter 8 summarizes the results of Raman scattering in relation to the energy of excitation. These studies revealed several resonance effects related to the maxima in the density of states at characteristic points of the Brillouin zone and quantum interference.

Chapter 9 describes temperature-dependent measurements. These results complement the previous chapter.

The last part of the dissertation is a summary of the work. This chapter also contains a list of the author's achievements. The work concludes with a bibliography.

Rozpraszanie Ramana w cienkich warstwach tellurku molibdenu (MoTe_2)

Streszczenie rozprawy doktorskiej

Magdalena Grzeszczyk

Uzyskanie pojedynczej warstwy atomów węgla - grafenu - zapoczątkowało nowy trend w nauce skupiający się na dwuwymiarowych strukturach dobrze znanych materiałów objętościowych. Dodatkowo szybki postęp technik wytwarzania próbek przyczynił się do zwiększonego zainteresowania materiałami warstwowymi, między innymi dichalkogenkami metali przejściowych. Różnorodność własności chemiczno-fizycznych wyróżnia te materiały ze względu na szeroką gamę możliwych zastosowań w elektronice, optoelektronice, fotowoltaice. Mogą też zostać wykorzystane w fotoogniwach, medycynie oraz czujnikach biologicznych.

Głównym celem tej pracy była charakteryzacja własności optycznych przykładowego półprzewodnikowego dichalkogenku metalu przejściowego w zależności od jego grubości. Spośród wielu przedstawicieli rodziny tych związków wybrano tellurek molibdeny (MoTe_2), ponieważ pozostaje on stosunkowo słabiej poznany w porównaniu do innych związków, jak np. siarczku molibdeny (MoS_2). Badania opisane w pracy wykonano za pomocą spektroskopii rozpraszania Ramana. Technika ta skupia się na pomiarach światła rozproszonego w kryształach, dających informację na temat dynamiki sieci krystalicznej, propagacji ciepła oraz mechanicznej wytrzymałości kryształów. Widma rozpraszania Ramana pozostają też ważnym źródłem informacji na temat grubości badanych plątków.

Rozprawa doktorska zawiera dziesięć rozdziałów.

Rozdział 1 to przegląd ogólnych informacji na temat materiałów dwuwymiarowych, w szczególności półprzewodnikowych dichalkogenków metali przejściowych. Ze względu na obszerność tematu, skupiono się na wybranych aspektach, szczególnie istotnych dla pracy.

Rozdział 2 skupia się na własnościach MoTe_2 w postaci materiału objętościowego oraz jego cienkich warstw. Zaprezentowano między innymi jego strukturę krystaliczną i pasmową oraz zależnościach dyspersyjnych fononów. Elementy te stanowią podstawę zrozumienia prezentowanych wyników.

Rozdział 3 demonstrowa szeroką gamę metod uzyskiwania omawianych materiałów oraz techniki ich charakteryzacji.

Rozdział 4 stanowi teoretyczny opis podstaw spektroskopii rozpraszania Ramana oraz notacji teorii grup potrzebny do zrozumienia analizy przeprowadzonej w kolejnych rozdziałach.

Rozdział 5 zawiera szczegółowy opis metody wytwarzania próbek badanych w ramach pracy oraz prezentuje układy eksperymentalne.

W rozdziale 6 przeprowadzono identyfikację modów fononowych, która umożliwia określenie grubości cienkich warstw MoTe_2 na podstawie widm rozpraszania Ramana.

Rozdział 7 zawiera szereg wyników uzyskanych w czasie pomiarów próbek w zależności od liczby warstw. Na ich podstawie przeprowadzono analizęiskoenergetycznych modów drgań w cienkich warstwach MoTe_2 oraz heterostruktur, co umożliwiło wyznaczenie stałych siłowych oddziaływań między-warstwowych oraz między materiałem a podłożem. Dodatkowo opisane zostały obserwacje rozszczepień modów poza-płaszczyznowych wywołanych efektami Davydova oraz pomiary oddziaływania z podłożem.

Rozdział 8 stanowi podsumowanie wyników rozpraszania Ramana w zależności od energii pobudzenia. Badania te ujawniły szereg efektów rezonansowych związanych z gęstościami stanów w charakterystycznych punktach strefy Brillouina oraz interferencjami kwantowymi.

Rozdział 9 opisuje pomiary prowadzone w funkcji temperatury. Wyniki te stanowią uzupełnienie poprzedniego rozdziału.

Ostatnia część rozprawy stanowi podsumowanie pracy. W rozdziale tym zawarto także wykaz osiągnięć Autorki. Pracę zamyka bibliografia.