

Epitaksja MoTe₂ i MoSe₂, ich rozpraszanie Ramana oraz fotoluminescencja.

Kamil Skwarczyński

Streszczenie

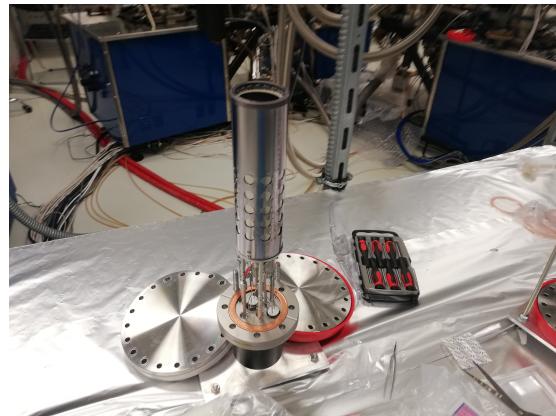
W ćwiczeniu, korzystając z MBE (Molecular beam epitaxy) wytworzono dwie próbki MoTe₂ (UW0961) oraz MoSe₂ (UW0962); obie powstały w takich samych warunkach. Następnie w celu sprawdzenia efektów przebadano je spektroskopią Ramananowską i luminescencją. Następnie przebadano obie próbki pod mikroskopem. Udało się wytworzyć obie warstwy, chociaż warstwa MoTe₂ była bardzo mała.

Wstęp

MBE (Molecular beam epitaxy) jest to metoda tworzenia monowarstw kryształów (na Rysunku 1 przedstawiono MBE, na którym pracowano). Najpierw wybieramy materiał (substrat), który będzie ramką, na której wytwarzany będzie kryształ. Następnie ramka jest podgrzewana; po ogrzaniu strzelamy odpowiednimi pierwiastkami z komory efuzyjnej (Rysunek 2) w tę ramkę. Cały proces tworzenia warstwy zachodzi w próżni. Dążymy do tego, żeby było jak najmniej niepożądanych elementów, które mogłyby zanieczyć tę próbkę.

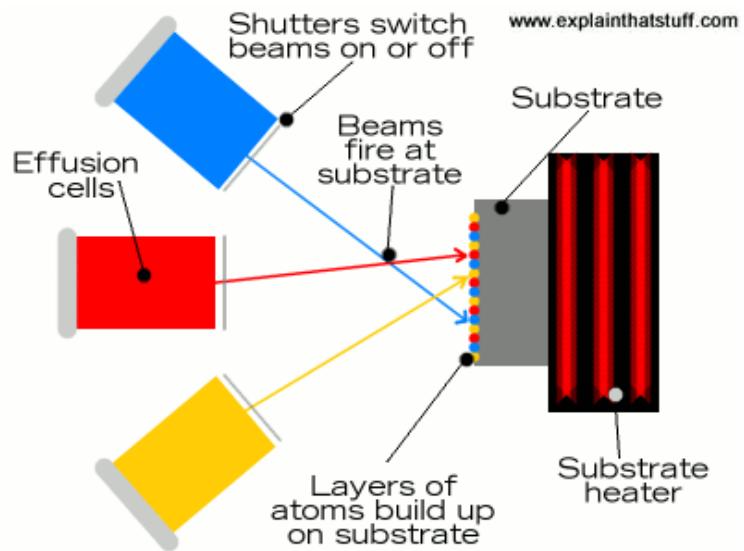


Rysunek 1: MBE, na którym pracowano.



Rysunek 2: Komora efuzyjna, w której znajduje się Teler.

Z uwagi na to, że zazwyczaj chcemy mieć możliwość produkowania różnych monowarstw, to potrzebujemy wiele komór dyfuzyjnych. W celu uniknięcia zabrudzeń nieużywanych próbek korzysta się z "szaterów" (ang. shutter). Cały schemat przedstawiono na Rysunku 3.



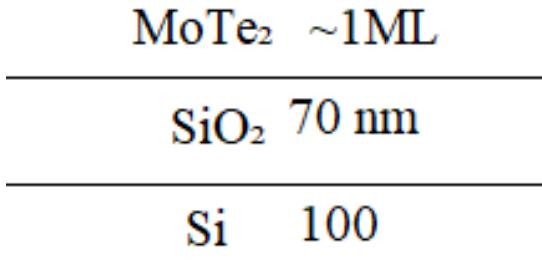
Rysunek 3: Schemat działania MBE [1].

Spektroskopia Ramana jest techniką spektroskopową służącą do badania struktury kryształu. Próbka oświecana jest laserem, w wyniku czego generowana jest infinitezymalna ilość rozpraszania Ramana, co jest obserwowane kamerami CCD. Rozpraszanie Ramana jest nieelastycznym rozpraszaniem fotonu na substancji, w wyniku którego zmienia się energia fotonu. Poza tym występuje rozpraszanie Rayleigha, w wyniku którego energia fotonu się nie zmienia. Zmiana długości fali w wyniku rozpraszania Ramana nazywana jest "Raman shift", której wartość zależy od materiału.

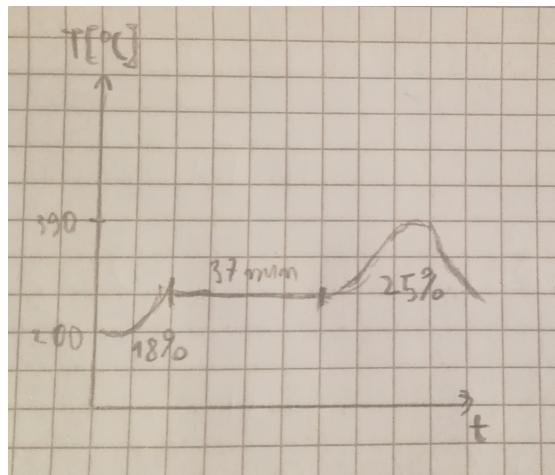
Luminescencja jest to promieniowanie, które nie jest pochodzenia termicznego. Według Wawiłowa: „Luminescencja to nadwyżka promieniowania ciała nad promieniowaniem temperaturowym tego samego ciała w danej części widmowej i w danej temperaturze, która ponadto charakteryzuje się skończonym czasem świecenia, to znaczy nie zanika natychmiast po przerwaniu wzbudzenia.” Jest wiele rodzajów luminescencji, ale ta, którą badano to fotoluminescencja. Wywołana jest ona przez pochłonięcie promieniowania elektromagnetycznego z obszaru widzialnego, ultrafioletu lub podczerwieni. Pochlonięta energia jest następnie wyemitowana również w postaci światła, na ogólnie o energii mniejszej niż energia światła wzbudzającego [3].

Produkcja próbek

Korzystając z MBE utworzono dwie próbki. Pierwszą z nich była dwutellurek molibdenu (MoTe_2 , schemat na Rysunku 4), którą nazwano UW0961. Próbka była ogrzewana liniowo, czego schemat przedstawiono na Rysunku 5. Ciśnienie, jakie panowało wewnętrz wynosiło $p=4.01\cdot10^{-7}$ Tr (po odliczeniu tła), gdzie 1 Tr=1/760 atm = 133.3224 Pa. Temperatura Teleru wynosiła 301 (min), 403 (Tip) °C.

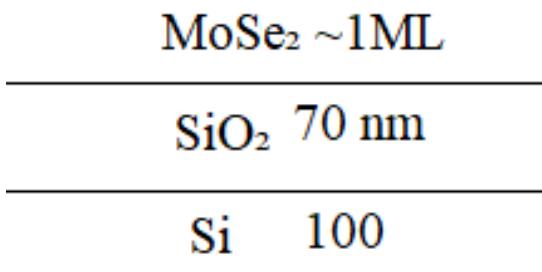


Rysunek 4: Schemat budowy próbki UW0961.

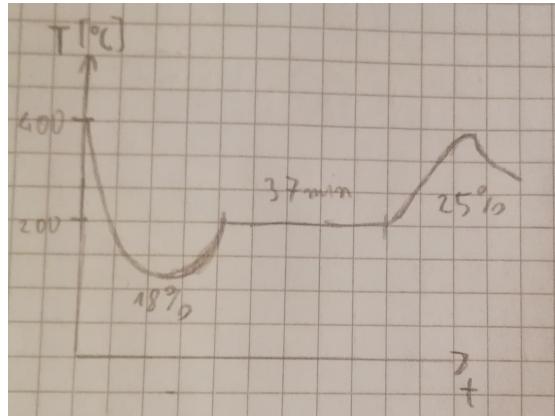


Rysunek 5: Schemat ogrzewania próbki UW0961.

Drugą utworzoną próbką był dwuselenek molibdenu (MoSe₂, Schemat na Rysunku 6), którą natomiast nazwano UW0962. Tę próbkę ogrzewano w taki sam sposób (Rysunek 7). Ciśnienie dla Selenu wynosiło $p=6.28 \cdot 10^{-7}$ Tr, temperatura zaś T=84 (min), 120 (Tip) °C.



Rysunek 6: Schemat budowy próbki UW0962.



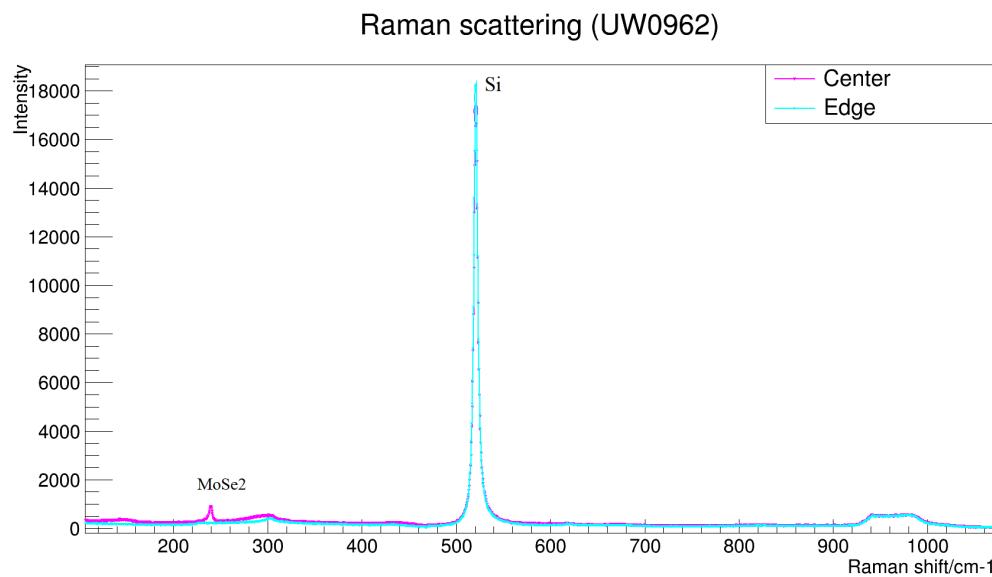
Rysunek 7: Schemat ogrzewania próbki UW0962.

Analiza próbek

W celu sprawdzenia, czy faktycznie powstały próbki, których się spodziewamy, zde-

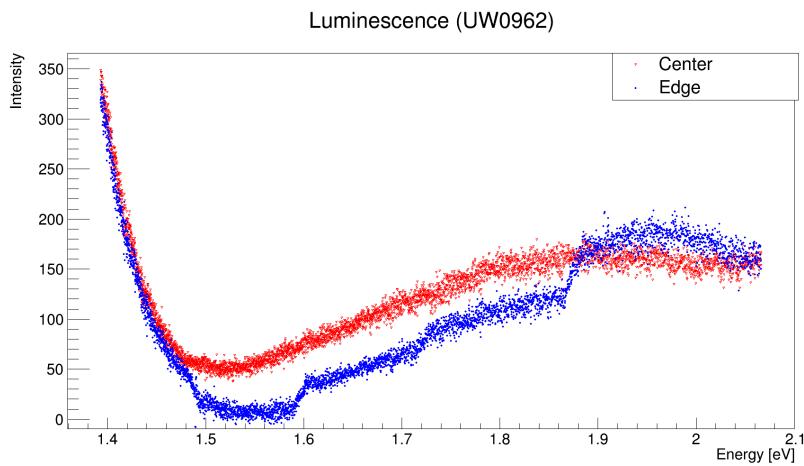
cydowano się sprawdzić spektroskopią Ramanowską oraz pod kątem luminescencji.

Najpierw przebadano próbkę UW0962 za pomocą spektroskopii Ramana. Na Rysunku 8 widać dla około 550 cm^{-1} ogromny pik; jest to krzem, który jest podstawą dla naszej próbki, więc nie dziwi tak ogromne natężenie. Dla ok. 250 cm^{-1} widać drugi pik, tym razem jest on widoczny tylko dla próbki (kolor fioletowy). Nie widać go natomiast dla ramki (kolor turkusowy), co świadczy o tym, że faktycznie udało się wytworzyć oczekiwana monowarstwę.

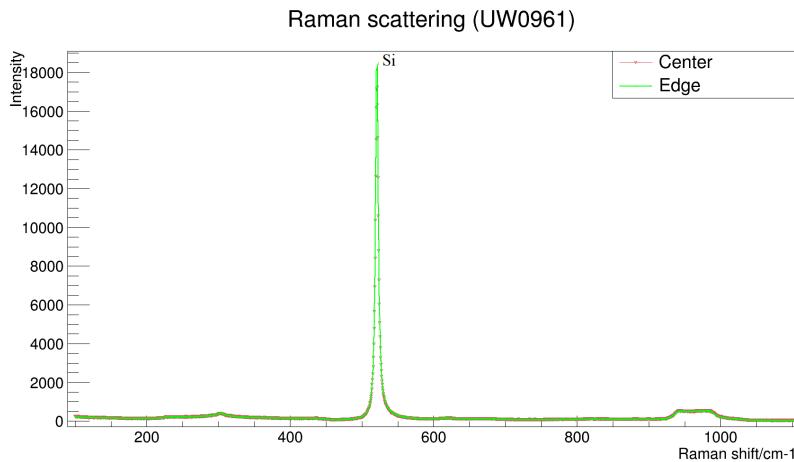


Rysunek 8: Rozpraszanie Ramana dla próbki UW0962, wytworzona warstwa (kolor fioletowy) i ramka (kolor turkusowy) oraz zaznaczone piki MoSe₂ i Si.

Luminescencje próbki UW0962 przedstawiono na Rysunku 9. Trudno mówić tu o luminescencji, gdyż brak jest wyraźnej różnicy między próbką (kolor czerwony) a ramką (kolor niebieski).



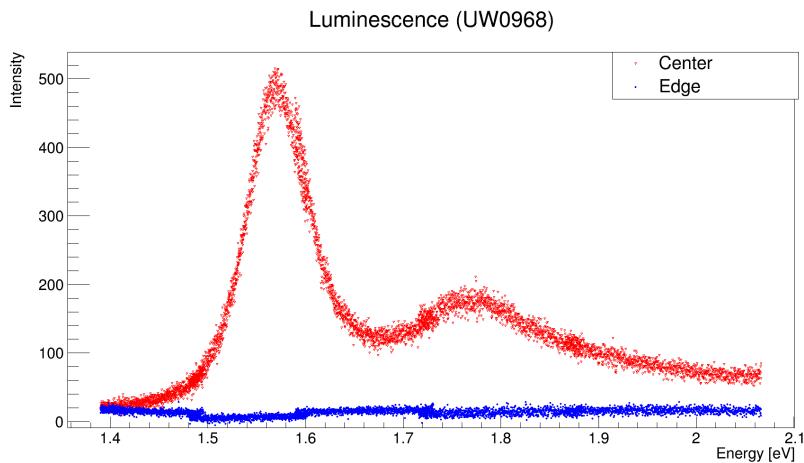
Rysunek 9: Luminescencja próbki UW0962, wytworzona warstwa (kolor czerwony) oraz ramka (kolor niebieski).



Rysunek 10: Rozpraszanie Ramana dla próbki UW0961, wytworzona warstwa (kolor brązowy) i ramka (kolor zielony) oraz zaznaczony pik Si.

Analizując Rysunek 10 przedstawiający rozpraszanie Ramanowskie dla próbki UW0961 nie widać różnic między wykresem ramki (kolor zielony) a próbki (kolor brązowy), co może sugerować, że nie udało się utworzyć warstwy albo jest ona bardzo mała. Luminescencja też nic nie pokazała, ale tych danych już nie zapisano. Ponieważ obie

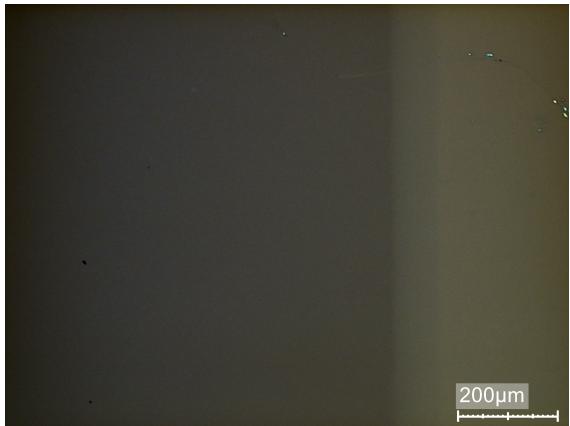
próbki nie pokazały nic na rozkładzie luminescencji, to zdecydowano się zobaczyć luminescencje innej próbki, wytworzonej przez osoby trzecie na tej samej aparaturze, ale w innym czasie. Na Rysunku 11 przedstawiono luminescencję tej próbki. Dla wytworzonej warstwy (kolor czerwony) widać dwa piki, podczas gdy dla ramki (kolor niebieski) sygnał jest "płaski". Skoro dla tej próbki zauważono tak ładną luminescencję, to oznacza, że aparatura działała poprawnie, a brak luminescencji dla dwóch poprzednich próbek wynika z ich budowy albo z jakichś ubytków.



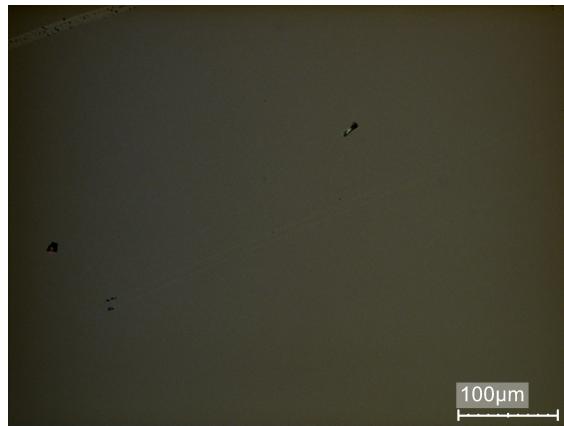
Rysunek 11: Luminescencja próbki UW0968, wytworzona warstwa (kolor czerwony) oraz ramka (kolor niebieski).

Badanie pod mikroskopem

W celu dalszej analizy wytworzonych próbek poddano je badaniu pod mikroskopem. Najpierw przebadano próbkę UW0962. Na Rysunku 12 widać różnice wysokości, co sugeruje, że wytworzono monowarstwę, potwierdzając tym samym to, co zostało zaobserwowane w spektroskopii Ramanowskiej (Rysunek 8). Na Rysunku 13 widać już strukturę właściwej monowarstwy. Widać małe obiekty przypominające mini kryształki oraz dwie równoległe linie, które są bardzo równe, co może sugerować, że to faktycznie cecha próbki, a nie usterka.



Rysunek 12: Zdjęcie pod mikroskopem próbki UW0962 w przybliżeniu X10.



Rysunek 13: Zdjęcie pod mikroskopem próbki UW0962 w przybliżeniu X20.

Następnie badano próbkę UW0961. Na Rysunku 14, patrząc od lewej strony widać próbkę, ramkę i podłoże mikroskopu. Można zauważać drobną różnicę wysokości, co sugeruje, że jednak udało się wytworzyć warstwę w przeciwnieństwie do tego, co pokazała spektroskopia Ramana (Rysunek 10). Różnica jest niewielka, co może tłumaczyć dlaczego nie było widać rozpraszenia Ramana. Jest to jednak dziwne, bo próbka UW0961, jak i UW0962 powstawały w takich samych warunkach. Na Rysunku 15 przedstawiono zdjęcie właściwej próbki, widać na nim dwie koliste linie. Na tej linii z lewej strony dodatkowo widać "coś" o jaskrawym niebieskim kolorze. Trudno stwierdzić, co to jest, ale podobny obiekt widać dla próbki UW0962 na Rysunku 12. Może to sugerować, że jest to defekt, albo obie próbki mają podobieństwa w budowie.



Rysunek 14: Zdjęcie pod mikroskopem próbki UW0961 w przybliżeniu X5.



Rysunek 15: Zdjęcie pod mikroskopem próbki UW0961 w przybliżeniu X20.

Podsumowanie

Udało się utworzyć dwie próbki MoTe_2 (UW0961) oraz MoSe_2 (UW0962). Obecność wytworzonej warstwy UW0962 zaobserwowano w spektroskopie Ramana oraz w badaniu pod mikroskopem, natomiast obecność UW0961 zaobserwowano tylko pod mikroskopem. Różnica ta wynika z tego, że wykształciło się dużo mniej MoSe_2 niż MoTe_2 , niemniej jest to dziwne, bo obie próbki powstawały w takich samych warunkach. Nie zaobserwowano sygnału od obu próbek na wykresie fotoluminescencji.

Literatura

- [1] Chris Woodford, "(2009/2016) *Molecular beam epitaxy*", dostępne w: <http://www.explainthatstuff.com/molecular-beam-epitaxy-introduction.html>, dostęp dnia 1.04.2018 r.
- [2] Nanophoton, "*What is Raman Spectroscopy?*", dostępne w: <https://www.nanophoton.net/raman/raman-spectroscopy.html>, dostęp dnia 1.04.2018 r.
- [3] Łukasz Gąsiorowski, Prezentacja pt. "*Luminescencja i jej wykorzystanie w praktyce*".