

Gliwice, 19.09.2022

RECENZJA
rozprawy doktorskiej mgr. inż. Jakuba SITKA
p.t.
***“Impact of the Substrate on the Properties of CVD-Grown Two-Dimensional Materials
and Their Heterostructures”***

Recenzję wykonano na podstawie zlecenia Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Nauki Fizyczne Politechniki Warszawskiej, prof. dr. hab. inż. Tomasza Wolińskiego z dnia 30 czerwca 2022 r. Recenzja została wykonana zgodnie z obowiązującymi przepisami zawartymi w Ustawie z dn. 20 lipca 2018 r. Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce, Dziennik Ustaw z 2018 r. poz. 1668.

Przedmiotem recenzowanej rozprawy doktorskiej, wykonanej pod kierunkiem dr. hab. inż. Włodzimierza STRUPIŃSKIEGO (jako promotora) oraz dr inż. Iwony PASTERNAK (jako promotora pomocniczego) z Wydziału Fizyki Politechniki Warszawskiej, były wybrane właściwości wybranych dwuwymiarowych materiałów i ich heterostruktur wytworzonych w technologii chemicznego osadzania z fazy pary (CVD). Zagadnienia te są bardzo ważne ze względów nie tylko poznawczych ale również praktycznych w aspekcie ich potencjalnych zastosowań elektronicznych.

1. Jaki jest problem naukowy (teza) rozprawy i czy został on trafnie i jasno sformułowany?

W ostatnich kilku dekadach, z uwagi na naturalną tendencję do miniaturyzacji urządzeń elektronicznych, przedmiotem szerokiego zainteresowania fizyki ciała stałego są zagadnienia wytwarzania wybranych dwuwymiarowych (2D) nanomateriałów i heterostruktur van der Waalsa, z wykorzystaniem najnowszych osiągnięć nanotechnologii, w tym zwłaszcza metod epitaksjalnych, oraz charakteryzacji podstawowych właściwości w/w dwuwymiarowych materiałów i ich heterostruktur w aspekcie ich potencjalnych zastosowań we współczesnej elektronice (elektronice najnowszej generacji) do wytwarzania na masową skalę najnowszych elementów i urządzeń elektronicznych.

Jedną z najbardziej perspektywicznych epitaksjalnych metod technologicznych wytwarzania materiałów 2D oraz ich heterostruktur jest ich chemiczne osadzanie z fazy gazowej (CVD). Kluczową rolę w tej procedurze technologicznej odgrywa m.in. wybór odpowiedniego podłoża dla ich kontrolowanego i powtarzalnego osadzania (wzrostu), ponieważ jak się okazało na podstawie wieloletnich intensywnych badań w międzynarodowej przestrzeni badawczej i technologicznej to zastosowane podłożu decyduje bezpośrednio o charakterze ich wzrostu osadzonych materiałów 2D i ich heterostruktur, i tym samym o podstawowych właściwościach, w aspekcie ich potencjalnych zastosowań w elektronice najnowszej generacji.

mk

Co istotne, aktualnie obiektem powszechnego zainteresowania w międzynarodowej przestrzeni badawczej i technologicznej są głównie pojedyncze układy typu pojedyncza warstwa-podłoże. Brakuje natomiast wyraźnie informacji na temat wpływu samego podłoża (jego typ, skład chemiczny, orientacja krystalograficzna oraz wstępne przygotowanie jego powierzchni) na charakter wzrostu (w tym zarodkowanie), oraz na podstawowe właściwości fizyczne otrzymanych obiektów 2D przy użyciu wybranych metod ich charakteryzacji, m.in. AFM, SEM, PL i RS, w celu głównie określenia ich wzajemnych korelacji, co było głównym celem prac własnych Autora recenzowanej rozprawy.

Obiektem prac własnych Autora rozprawy były cztery dwuwymiarowe (2D) nanomateriały 2D, tzn. grafen, węgiel amorficzny, dwusiarczek molibdenu (MoS_2) i dwusiarczek wolframu (WS_2) oraz ich wybrane heterostrukтуры osadzone metodą CVD na różnych podłożach.

Na podstawie informacji przedstawionych w recenzowanej rozprawie można potwierdzić, że opisany wyżej problem naukowy rozprawy został trafnie i jasno sformułowany. Ponadto przedstawiony przez Autora cel i zakres prac własnych w recenzowanej rozprawie może być powiązany bezpośrednio z aktualnym stanem wiedzy w światowej literaturze, w tym zwłaszcza w odniesieniu do w dalszym ciągu nierozwiązanych w pełni problemów technologicznych i badawczych w przedmiotowej tematyce.

2. Czy Autor rozwiązał postawiony problem i czy użył do tego właściwych metod dowodząc, że posiada umiejętności związane z metodyką i metodologią prowadzenia badań naukowych?

Na podstawie analizy informacji przedstawionych w recenzowanej rozprawie można potwierdzić, że Autor rozwiązał postawiony problem naukowy, a także dobrał właściwą metodologię zaproponowanych i przeprowadzonych własnych prac technologicznych i badawczych. Prace te można podzielić na 4 etapy.

W pierwszym etapie prac własnych, które zostały szczegółowo opisane w rozdziale 6 rozprawy, Autor przeprowadził systematyczne prace nad osadzaniem dwuwymiarowych warstw grafenu na podłożu Ge o różnych orientacjach powierzchni i na podstawie badań tych obiektów metodami odpowiednio mikroskopii optycznej (OM), skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM), mikroskopii sił atomowych (AFM), transmisyjnej mikroskopii elektronowej (TEM) oraz spektroskopii Ramana (RS) wykazał m.in., że orientacja krystalograficzna podłoża Ge wpływa istotnie na kształt zarodków grafenu oraz na specyficzny poziom naprężeń w osadzonej ciągłej warstwie grafenu, co przypisał różnej rekonstrukcji powierzchni tego podłoża. Uzyskane w ramach w/w badań informacje badawcze Autor bardzo szczegółowo przeanalizował w podrozdziale 6.4.

W drugim etapie prac własnych, które zostały szczegółowo opisane w rozdziale 7 rozprawy, Autor przeprowadził systematyczne prace nad osadzaniem dwuwymiarowych warstw dwusiarczku molibdenu MoS_2 na dwuwymiarowym grafenie, oraz na trójwymiarowych podłożach takich jak dwutlenku krzemu (SiO_2) oraz trójtlenku glinu (Al_2O_3 w formie szafiru) i na podstawie badań tych obiektów metodami odpowiednio mikroskopii optycznej (OM), skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM), mikroskopii sił atomowych (AFM), fotoluminescencji (PL) oraz spektroskopii Ramana (RS) wykazał m.in., że w przypadku zastosowania jako podłoża dwuwymiarowego grafenu zamiast trójwymiarowych materiałów takich jak SiO_2 oraz szafir, występuje inny mechanizm dyfuzji powierzchniowej – tzw. dyfuzji mobilnej, co poprawia stabilność syntezowanych warstw MoS_2 . Ponadto stwierdził, że przez zastosowanie jako podłoża dwusiarczku wolframu (WS_2) zamiast grafenu, dodatkowo stabilizuje wzrost warstw MoS_2 przez

zwiększenie odporności na zmiany warunków termodynamicznych procesu, co powiązał z efektem zwiększonej adhezji między strukturalnie podobnymi materiałami 2D. Uzyskane w ramach w/w badań informacje badawcze Autor bardzo szczegółowo przeanalizował w podrozdziale 7.4.

W trzecim etapie prac własnych, które zostały szczegółowo opisane w rozdziale 8 rozprawy, Autor przeprowadził niezależne, systematyczne prace nad osadzaniem dwuwymiarowych warstw dwusiarczku wolframu WS_2 na dwuwymiarowym grafenie, oraz na trójwymiarowych podłożach takich jak SiO_2 oraz szafiru i na podstawie badań tych obiektów metodami odpowiednio mikroskopii optycznej (OM), skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM), mikroskopii sił atomowych (AFM), fotoluminescencji (PL) oraz spektroskopii Ramana (RS) wykazał m.in., że warstwy WS_2 wzrastają w bardziej uprzywilejowany sposób (preferencyjnie) na grafenie, w stosunku do w/w podłoży trójwymiarowych, przy specyficznych warunkach technologicznych, przy czym zaobserwował, że monowarstwowe domeny w formie monokryształów są bardziej wyraźnie widoczne na podłożach trójwymiarowych niż na grafenie, oraz że na grafenie warstwy WS_2 tworzą domeny dziesięciokrotnie większe niż warstwy MoS_2 na tym samym podłożu. Uzyskane w ramach w/w badań informacje badawcze Autor bardzo szczegółowo przeanalizował w podrozdziale 8.3.

W czwartym etapie prac własnych, które zostały szczegółowo opisane w rozdziale 9 rozprawy, Autor przeprowadził systematyczne prace nad osadzaniem niskowymiarowych dwuskładnikowych heterostruktur MoS_2/WS_2 na dwuwymiarowym podłożu grafenowym, i na podstawie badań tych obiektów metodami odpowiednio skaningowej mikroskopii elektronowej (SEM), mikroskopii sił atomowych (AFM), fotoluminescencji (PL) oraz spektroskopii masowej jonów wtórnych (SIMS) wykazał m.in., że zarodki MoS_2 tworzą trójkątne formy na WS_2 niezależnie od warunków wzrostu, podobnie jak warstwy MoS_2 rosnące na grafenie. Ponadto stwierdził, że efekt wzrostu małych zarodków materiałów dwuwymiarowych (2D) może być bezpośrednio wykorzystany do sprawdzenia, czy dwuwymiarowe podłożu jest monokrystaliczne, co wynika z tego, że w procedurze epitaksji van der Waalsa materiały dwuwymiarowe (2D) wzrastają na podłożach dwuwymiarowych (2D) współmiernie, co zostało bezpośrednio potwierdzone na przykładzie wzrostu trójkątnych zarodków MoS_2 na monokryształach WS_2 . Uzyskane w ramach w/w badań informacje badawcze Autor bardzo szczegółowo przeanalizował w podrozdziale 9.3.

Pogłębioną analizę (dyskusję) końcową wszystkich uzyskanych wyników prac własnych zrealizowanych w czterech w/w etapach Autor niezależnie przedstawił w rozdziale 10 swojej rozprawy, ze szczególnym uwzględnieniem analizy wpływu podstawowych właściwości powierzchni zastosowanych podłoży na wzrost materiałów dwuwymiarowych, aspektów technologicznych wzrostu materiałów dwuwymiarowych, oraz niekompletnej teorii wzrostu materiałów dwuwymiarowych.

Należy w tym miejscu podkreślić, że wszystkie przeprowadzone prace technologiczne oraz towarzyszące prace badawcze, których wyniki zostały poprawnie przeanalizowane i opisane, jednoznacznie potwierdzają, że Autor posiada umiejętności związane z metodyką oraz metodologią prowadzenia badań naukowych.

Co bardzo istotne, recenzowana rozprawa ma z jednej strony charakter eksperymentalny, a z drugiej - interdyscyplinarny, gdyż obejmuje nie tylko zagadnienia technologii materiałowej (elektronowej), w tym charakteryzacji podstawowych właściwości wybranych dwuwymiarowych materiałów i ich heterostruktur.

3. Czy tematyka rozprawy jest aktualna lub dostatecznie ważna?

Tematyka recenzowanej rozprawy jest bardzo aktualna oraz ważna w szerokiej międzynarodowej przestrzeni badawczej i technologicznej gdyż dotyczy wykorzystania technologii epitaksjalnej do wytwarzania wybranych dwuwymiarowych materiałów i ich heterostruktur.

Uzyskane przez Autora rozprawy wyniki własnych prac technologicznych i badawczych wnoszą z pewnością istotny wkład do rozwoju wiedzy z przedmiotowego obszaru tematycznego fizyki ciała stałego.

4. Na czym polega oryginalny dorobek Autora i jakie jest jego znaczenie poznawcze lub przydatność praktyczna dla nauki bądź techniki?

Bardzo oryginalny dorobek Autora recenzowanej rozprawy obejmuje uzyskane przez niego nowe informacje naukowe uzyskane na podstawie przeprowadzonych prac technologicznych i badawczych, wraz z pogłębioną interpretacją uzyskanych wyników prac własnych, na temat możliwości wykorzystania technologii epitaksjalnej do wytwarzania wybranych dwuwymiarowych materiałów i ich heterostruktur. Opisane w rozprawie prace technologiczne oraz badania własne wykazały m.in., że wzrost i właściwości materiałów dwuwymiarowych (2D) na wybranych podłożach silnie zależą od podstawowych charakterystycznych właściwości powierzchni tych podłoży, gdyż bezpośrednio determinują one wzrost wysokiej jakości materiałów 2D. Szczególne znaczenie ma np. orientacja krystalograficzna powierzchni Ge, oraz jej rekonstrukcja, która bezpośrednio determinuje kształt zarodków grafenu i wpływa na poziom naprężeń w jego ciągłej warstwie.

W ramach zrealizowanej pracy doktorskiej Autor wykazał ponadto, że zastosowanie podłoży dwuwymiarowych (grafen) zamiast trójwymiarowych (SiO_2 , szafir) poprawia stabilność osadzonych warstw MoS_2 ze względu na występowanie mechanizmu tzw. mobilnej dyfuzji powierzchniowej. Ponadto Autor wykazał, że zastosowanie WS_2 jako podłoża zamiast grafenu, dodatkowo poprawia (stabilizuje) wzrost warstw MoS_2 eliminując wpływ zmiany warunków termodynamicznych w procesie samego wzrostu.

Oryginalność prac technologicznych i badawczych Autora recenzowanej rozprawy doktorskiej zawiera się też w końcowych wnioskach na podstawie pogłębionej analizy uzyskanych wyników prac własnych, na podstawie której Autor sugeruje m.in., że wzrost materiałów dwuwymiarowych (2D) na podłożach trójwymiarowych (3D) zachodzi w modzie tzw. epitaksji mieszanej. Ponadto Autor niniejszej rozprawy postawił hipotezę, że wzrost epitaksjalny materiałów dwuwymiarowych (2D) jest kontrolowany regulowany jedynie przez dwa czynniki: zewnętrzny (reprezentowany przez potencjał chemiczny) i wewnętrzny (wyrażony przez adhezję między warstwą a podłożem).

Uzyskane przez Autora i opisane w jego rozprawie doktorskiej wyniki własnych prac technologicznych i badawczych mają z jednej strony ważne znaczenie poznawcze. Potwierdza to przede wszystkim fakt, że ważniejsze uzyskane wyniki zostały już wcześniej rozpowszechnione w międzynarodowej przestrzeni badawczej, m.in. w formie cyklu 5 publikacji współautorskich w międzynarodowym czasopiśmie naukowych rozpoznawanych w Bazie JCR (Lista Filadelfijska), takich jak Applied Surface Science (2020), ASC Applied Materials and Interfaces (2020), Materials (2021 i 2022) i Measurements (2022) cytowanych w Bibliografii ((List of references) jako pozycje odpowiednio [207,208,212,226,242], przy czym, co jest

niezwykle istotne, w publikacjach cytowanych jako [208,212,242] Autor recenzowanej rozprawy doktorskiej jest ich pierwszym autorem. Z drugiej strony należy podkreślić, że uzyskane przez Autora informacje na bazie wyników prac własnych mają też duże znaczenie praktyczne i z pewnością powinny przyczynić się do jeszcze szerszego wykorzystania technologii epitaksjalnej, w tym w odmianie van der Waalsa, w masowej produkcji urządzeń elektronicznych nowej generacji.

5. Czy rozprawa świadczy o dostatecznej wiedzy Autora, wiedzy na zaawansowanym poziomie, o charakterze podstawowym dla dziedziny oraz o charakterze szczegółowym, odpowiadającej obszarowi prowadzonych badań naukowych?

Recenzowana rozprawa ewidentnie świadczy o ogromnej wiedzy Autora na zaawansowanym poziomie, zarówno o charakterze podstawowym dla dziedziny **nauk przyrodniczych** oraz inżynierijno-technicznych jak i o charakterze szczegółowym, odpowiadającej tematyce prowadzonych przez niego prac technologicznych oraz towarzyszących prac badawczych, co zostało potwierdzone zwłaszcza przez:

- szczegółowy opis aktualnego stanu wiedzy w tematyce przedmiotowej rozprawy doktorskiej,
- własne prace technologiczne i badania eksperymentalne, w połączeniu z analizą - interpretacją uzyskanych wyników o charakterze eksperymentalnym i interdyscyplinarnym.

6. Czy rozprawa obejmuje najnowsze osiągnięcia nauki i świadczy o znajomości współczesnej literatury z dyscypliny naukowej, której dotyczy?

Recenzowana rozprawa z pewnością obejmuje najnowsze osiągnięcia nauki ponieważ dotyczy zagadnień będących przedmiotem wzrastającego zainteresowania fizyki ciała stałego, w tym fizyki półprzewodników, w międzynarodowej przestrzeni naukowej nad wykorzystaniem najnowszych technologii epitaksjalnych do wytwarzania m.in. wybranych dwuwymiarowych nanomateriałów, oraz opartych na nich heterostruktur, co jednoznacznie potwierdza (świadczy) o dobrej znajomości przez Autora rozprawy współczesnej literatury z obszaru dyscypliny naukowej, której praca dotyczy. Świadczy o tym też wykaz 293 odnośników literaturowych (publikacji) w końcowej części rozprawy (List of references).

7. Jakie są wady i słabe strony rozprawy?

Na wstępie należy wyraźnie podkreślić, że przedstawione w recenzowanej rozprawie wyniki własnych prac technologicznych i badawczych Autora wnoszą bardzo istotny wkład do rozwoju wiedzy na temat wpływu podłoża na właściwości wybranych dwuwymiarowych materiałów i ich heterostruktur wytworzonych w technologii chemicznego osadzania z fazy pary (CVD) w aspekcie ich potencjalnych zastosowań w elektronice.

Należy jednak zwrócić uwagę, że recenzowana rozprawa zawiera pewne wady i słabe strony, głównie natury redakcyjno-edytorskiej, które zestawiono poniżej:

1. tekst rozprawy, wraz z dodatkami (łącznie 196 stron) napisanej w języku angielskim jest stylistycznie poprawny, ale informacje zawarte w samej rozprawie zostały nieco sztucznie i niepotrzebnie rozdzielone na aż 11 rozdziałów, co dokładniej skomentowano poniżej,

2. w rozdziałach odpowiednio 2 i 3 Autor przedstawił podstawowe informacje literaturowe dotyczące materiałów dwuwymiarowych oraz metody epitaksji, w tym epitaksji van der Waalsa oraz osadzania chemicznego z fazy pary (CVD), a dopiero w rozdziale 4 przedstawił najważniejsze informacje literaturowe (jako State of the Art) w tematyce wzrostu materiałów dwuwymiarowych oraz ich heterostruktur, oraz wpływu podłoża na ich właściwości, a także dotychczas nierozwiązane problemy w przedmiotowej tematyce. Należało raczej wydzielone wcześniej rozdziały 2 i 3 jako pierwsze dwa podrozdziały włączyć do jednego wspólnego rozdziału 2 (State of the Art of two-dimensional materials growth); wtedy wcześniejszy rozdział 5 (Methodology) stałby się automatycznie rozdziałem 3, z tym że pierwszy jego podrozdział (Characterization methods) powinien być raczej umieszczony na końcu tego wspólnego rozdziału,
3. co również istotne, wyniki przeprowadzonych prac technologicznych oraz wyników badań wpływu podłoża na właściwości wybranych dwuwymiarowych materiałów oraz ich heterostruktur Autor również rozdzielił niepotrzebnie na kolejne cztery rozdziały (6-10), które należało raczej włączyć do jednego wspólnego rozdziału 6 (Results and discussion). Wtedy rozdział 11 (Summary) stałby się automatycznie rozdziałem 7, w którym Autor wypunktował 13 wniosków uzyskanych na podstawie analizy wyników przeprowadzonych własnych prac technologicznych i badawczych. Część z nich została sformułowana w sposób zbyt ogólny a należało je raczej pogrupować w odniesieniu do wcześniej określonych w rozdziale 1 celów planowanych dla konkretnych dwuwymiarowych materiałów i ich heterostruktur przeprowadzonych prac własnych i badawczych. Ponadto w końcowej części tego rozdziału należało dodatkowo bardziej wyraźnie podkreślić (wyróżnić), które informacje technologiczne i badawcze uzyskane przez Autora w wyniku realizacji recenzowanej pracy doktorskiej stanowią ewidentne elementy nowości naukowej w stosunku do informacji dostępnych w międzynarodowej przestrzeni technologicznej i badawczej,
4. w głównej części rozprawy można znaleźć łącznie 129 informacji w formie obrazów dotyczących wybranych wyników badań własnych Autora kolejnych obiektów badawczych. Szkoda, że kolejne obrazy nie zostały ponumerowane w ramach kolejnych rozdziałów pracy, co ułatwiłoby zapewne potencjalnemu czytelnikowi łatwiejsze ich powiązanie z informacjami tekstowymi zawartymi w tych rozdziałach. Poważniejszym problemem jest natomiast, nie do końca zrozumiałe, zamieszczenie kolejnych 31 obrazów w 10 dodatkach dołączonych w końcowej części rozprawy, co nie ułatwia potencjalnemu czytelnikowi sukcesywnego śledzenia informacji technologicznych i badawczych przedstawionych przez Autora w kolejnych rozdziałach jego rozprawy. Przykładowo, w dodatku 1 pokazano na rys.130 obrazy AFM powierzchni podłoża Ge o trzech różnych orientacjach, które lepiej byłoby zamieścić bezpośrednio już w podrozdziale 5.2 rozdziału 5 (Methodology), gdzie przedstawiono najważniejsze informacje o podłożu Ge wykorzystanym np. przy osadzaniu dwuwymiarowych warstw grafenu. Z kolei, na rys.131 pokazano obrazy AFM powierzchni trzech różnych podłoży, które lepiej byłoby zamieścić już wcześniej w kolejnych podrozdziałach rozdziału 6, gdzie opisano wyniki prac dotyczących osadzania na nich dwuwymiarowych warstw siarczku molibdenu MoS₂. Podobnie jak widma

ramanowskie oraz widma fotoluminencji pokazane na rys. 132 dla różnych wykorzystywanych podłoży. Z kolei obrazy AFM, wybranych, dwuwymiarowych podłoży pokazane na rys.133 lepiej byłoby zamieścić już wcześniej w wybranych podrozdziałach kolejnych rozdziałów, gdzie opisano wyniki prac dotyczących osadzania dwuwymiarowych warstw wybranych materiałów na wybranych podłożach. To samo dotyczy informacji obrazowych (widm Ramana i PL) pokazanych na rys.135. Następnie, w dodatku 2, na kolejnych rys. 135-147, przedstawiono informacje obrazowe dotyczące ważniejszych szczegółów systemu technologicznego do osadzania metodą CVD wybranych dwuwymiarowych materiałów i ich heterostruktur, będących obiektami prac technologicznych i badawczych w recenzowanej rozprawie, które lepiej byłoby, może w wersji nieco skróconej, bezpośrednio dołączyć np. do podrozdziału 5.3 rozdziału 5 (Methodology). Podobnie, kolejne informacje obrazowe zamieszczone na rys. 148-160 w kolejnych dodatkach (3-10) lepiej byłoby połączyć z odpowiednimi podrozdziałami kolejnych rozdziałów recenzowanej pracy doktorskiej, w których opisano najważniejsze informacje uzyskane w wyniku realizacji kolejnych etapów własnych prac technologicznych i badawczych dotyczących kolejnych obiektów,

5. w końcowej części recenzowanej rozprawy (str.164-167) Autor zamieścił m.in. wykaz swoich osiągnięć naukowych. O ile dane bibliometryczne (szkoda, że pominięciem danych z bazy Web of Science) oraz wykaz publikacji są informacjami ważnymi dla oceny wkładu doktoranta w rozwój wiedzy w przedmiocie rozprawy, o tyle dodatkowe zawarte w tej części rozprawy informacje są raczej zbędne i powinny być ewentualnie zestawione w załącznikach powszechnie dołączanych przez doktoranta w części administracyjnej samej procedury doktorskiej.
6. w recenzowanej rozprawie można też znaleźć pojedyncze błędy literowe, np. w niektórych podpisach, ale ponieważ są one raczej nieistotne zrezygnowano z ich szczegółowego zestawienia.

Wszystkie wymienione wyżej drobne wady i słabe strony nieco obniżają wartość samej rozprawy doktorskiej mgr. inż. Jakuba SITKA. Stanowi ona jednak bardzo ciekawą próbę oryginalnego rozwiązania ważnych problemów naukowych, poprzez uzyskanie nowych, ważnych informacji w stosunku do dostępnej literatury w międzynarodowej przestrzeni technologicznej i badawczej dotyczących wpływu podłoża na właściwości wybranych dwuwymiarowych materiałów i ich heterostruktur wytworzonych w technologii chemicznego osadzania z fazy pary (CVD).

8. Do której z następujących kategorii Recenzent zalicza rozprawę:

- a) nie spełniająca wymagań stawianych rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy,
- b) wymagająca wprowadzenia poprawek i ponownego recenzowania,
- e) spełniająca wymagania,
- d) spełniająca wymagania z wyraźnym nadmiarem,
- e) bardzo dobra, zasługująca na wyróżnienie.**

9. Podsumowanie

Mgr inż. Jakub Sitek wykazał się umiejętnością poprawnego wyboru i sformułowania naukowego celu pracy, a następnie konsekwentnie, z dobrą znajomością zagadnienia, cel ten zrealizował oraz wykazał słuszność sformułowanej tezy. Pozwala to stwierdzić zdolność doktoranta do prowadzenia efektywnej, samodzielnej pracy naukowej oraz umiejętności samodzielnego rozwiązywania trudnych problemów technicznych. Dlatego stwierdzam, że przedstawiona do recenzji praca doktorska pt. „Impact of the Substrate on the Properties of CVD-Grown Two-Dimensional Materials and Their Heterostructures” spełnia wymagania ustawowe, określone w ustawie z dnia 20 lipca 2018 r. Prawo o Szkolnictwie Wyższym i Nauce, art. 186 (Dz. U. 2018 poz. 1668). Wniosuję o jej przyjęcie, a także dopuszczenie do publicznej obrony.

10. Wniosek o wyróżnienie

Ponadto, biorąc pod uwagę oryginalne osiągnięcia o istotnej wartości naukowej i użytecznej, wysoki poziom naukowy rozprawy, bardzo dużą wartość jego wyników dla rozwoju nauki i techniki, oraz to, że istotna część wyników badań naukowych stanowiących podstawę recenzowanej rozprawy doktorskiej Autora została już wcześniej rozpowszechniona w międzynarodowej przestrzeni badawczej m.in. w postaci cyklu 5 współautorskich publikacji naukowych w recenzowanych czasopismach światowych z bazy JCR (Lista Filadelfijska), przy czym w 3 z nich, co niezwykle istotne, był on ich pierwszym autorem, wniosuję o wyróżnienie rozprawy doktorskiej mgr. inż. Jakuba Sitka.

Monika Kwoka