

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

ГЕЙДАРОВА Вусала Гейдар огли

«Структурні зміни у поліімідних плівках ПМА під дією глибокого охолодження, відпалу і низькотемпературної деформації»,

що представлена на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю – 01.04.07 фізика твердого тіла

Актуальність дисертаційної роботи.

В останні роки, внаслідок бурхливого розвитку космічного матеріалознавства, космічної оптики та астрофізичних досліджень інтерес до низькотемпературних властивостей та морфології полімерів і зокрема поліімідних плівок знаходиться на високому рівні. Можливості теоретичних досліджень в області космічного матеріалознавства полімерних плівок значно розширились. При цьому створення і розвиток відповідних теоретичних уявлень вимагає нові експериментальні дані відносно низькотемпературних властивостей полімерних плівок, на які б ці уявлення спирались і які були б перевіркою їх висновків. Проте такі дані вкрай обмежені, або зовсім відсутні.

Результати вказаних досліджень необхідні і з практичної точки зору. Без них немисливе створення перспективних зразків космічної техніки, водневої енергетики, кріоелектроніки, систем кріогенно-вакуумної відкачки, систем розділення компонентів природних газів, їх зрідження і транспортування в рідкому стані.

Тому тема дисертаційної роботи Гейдарова В.Г., що присвячена дослідженню формування структури і фізико-механічних властивостей поліімідних плівок в умовах впливу кріогенних температур, низькотемпературної пластичної деформації і відпалу, безумовно, є **актуальною.**

Мета дисертаційної роботи полягала в експериментальному дослідженні методами рентгенівської дифрактометрії морфології та властивостей поліімідних плівок, їх трансформації внаслідок впливу кріогенних температур, низькотемпературного деформування та відпалення. Дослідження, що склали дисертаційну роботу, були виконані у відділі «Фізики реальних кристалів» Фізико-технічного інституту низьких температур імені Б.І. Веркіна НАН України в інституту відповідно до відомчої тематики, яка затверджена Президією НАН України по темах: «Нові закономірності і механізми непружної деформації твердих тіл в умовах помірної та глибокого охолодження» (номер в рамках тематичного плану державної реєстрації 0107U000943, термін виконання 2008-2012 рр.); «Фізико-механічні властивості нанокристалічних, ультрадрібнозернистих та аморфних твердих тіл в умовах низьких та наднизьких температур» (номер державної реєстрації 0112U2638, термін виконання 2012-2014 рр.);

«Дослідження закономірностей та механізмів низькотемпературної деформації сучасних структурно модифікованих матеріалів» (номер державної реєстрації 0115U001160, термін виконання 2015-2017 рр.); «Дослідження закономірностей та механізмів низькотемпературної деформації сучасних структурно модифікованих матеріалів» (номер державної реєстрації 0118U003109, термін виконання 2018 - 2020 рр.).

Структура дисертації Гейдарова В.Г. складається зі вступу, п'яти оригінальних розділів, кожен з яких містить власний короткий вступ та висновок. Крім того наведені загальні висновки і бібліографічний опис, що включає 180 найменувань, з яких шість робіт виконані автором за темою дисертації, а також перелік наукових конференцій, на яких дисертант доповів особисто отримані експериментальні результати.

У **вступі** дисертант обґрунтував актуальність теми досліджень, мету та задачі роботи, сформулював основні результати, які винесено на захист, проаналізував їх наукову та практичну цінність, в також навів дані щодо апробації дисертації і публікації основних результатів дисертації.

Перший розділ «Будова твердих тіл» містить короткий огляд відносно відмінностей аморфних та кристалічних матеріалів. Особлива увага приділена полімерам, їх видам та методам отримання їх плівок і в першу чергу поліімідних плівок. Наведені літературні дані про фізико-механічні, електрофізичні, теплофізичні, радіаційні властивості поліімідів та поліімідних плівок, розглянут сучасний стан експериментальних та теоретичних досліджень структури та властивостей цих матеріалів. Літературний огляд свідчить про достатньо глибоке володіння дисертантом станом проблеми. При цьому підкреслюється, що на момент початку дисертаційної роботи відомості про структуру і фізико-механічні властивості поліімідних плівок після охолодження до криогенних температур, та після низькотемпературної деформації були вкрай обмежені. На основі цього в кінці розділу обґрунтовано сформульована постановка завдань дисертаційної роботи

У **другому розділі** дисертації «Об'єкти і методика проведення експерименту» наведені дані про плівки, на яких здійснені дослідження. Це аморфна поліімідна плівка ПМА (типу Kapton H) товщиною 0,08 мм та поліімідні плівки ПМА різної товщини (0,075 та 0,125 мм). Тут докладно розглянуті синтез полііміда і вихідні структури досліджуваних плівкових матеріалів, описані особливості підготовки зразків різних дослідів. Крім того викладені схеми охолодження та низькотемпературного деформування плівок і методика рентгенівських досліджень мікроструктури. Рентгеноструктурний аналіз - неруйнівний і чутливий метод дослідження і ці переваги яскраво проявилися при вивченні мікроструктури таких об'єктів, як поліімідні плівки ПМА. Основні дослідження мікроструктури здійсненні методом дифракції рентгенівських променів на дифрактометрі ДРОН 2.0 при кімнатній температурі.

У третьому розділі «Вплив низькотемпературного охолодження і деформації на структуру поліімідної плівки ПМА» наведені нові, важливі результати дослідження мікроструктури поліімідної плівки ПМА у вихідному стані, плівки, деформованої одновісним розтягненням при кімнатній температурі, плівок, охолоджених і витриманих при температурах 77 К і 4,2 К. При цьому на плівках в усіх станах на дифрактограмах спостерігається лише дифузне гало. Це однозначно свідчить про наявність в досліджуваних об'єктах ближнього порядку і про відсутність дальнього порядку. Але, якщо в плівках у вихідному стані це гало має просту форму, то в деформованій плівки, і в плівках, охолоджених і витриманих при низьких температурах, дифузне гало має складну форму. В останньому випадку дифрактограми характеризуються наявністю двох широких максимумів. Дисертант це зв'язує з утворенням областей ближнього порядку з різною щільністю, а саме додатковий максимум зв'язується з наявністю областей з щільністю більшою від щільності областей плівок у вихідному стані.

Дисертант приходить до висновку, що в деформованих плівках має місце часткове впорядкування молекул поліімідів. Низькотемпературна витримка поліімідних плівок також призводить до появи додаткового максимуму, але в області менших кутів. У цьому випадку теж мають місце області ближнього порядку з різною щільністю внаслідок утворення області стиснення. Дисертант пояснює це тим, що при охолодженні молекули полііміда втрачають частку внутрішньо-молекулярних ступенів свободи, що сприяє формуванню більш щільних областей.

В четвертому розділі «Низькотемпературна деформація поліімідної плівки ПМА» наведені результати вивчення деформаційної поведінки поліімідної плівки ПМА та вплива низькотемпературної деформації на її мікроструктуру. Деформування здійснювалося в режимі повзучості при одновісному розтягненні з ступінчастим підвищенням навантаження. Отримані основні параметри деформаційної поведінки поліімідної плівки ПМА. Найбільш важливим результатом цього дослідження (особливо в прикладному аспекті) є встановлення факту наявності високої пластичності плівок ПМА при температурах аж до гелієвих.

Важливі результати отримав дисертант при вивченні мікроструктури плівок ПМА, сформованої низькотемпературним деформуванням. Встановлено, що охолодження поліімідної плівки ПМА до температури рідкого азоту і подальша деформація при цій температурі призводять до того, що на дифрактограмі спостерігаються два широких симетричних максимуму, один з яких є основний, а другий – додатковий. При цьому широкий додатковий максимум зміщен в область малих кутів. Це однозначно свідчить, що деформація призвела до утворення в поліімідній плівці областей зі зниженою щільністю. На відміну від цього охолодження поліімідної плівки до гелієвих температур з наступною деформацією при цієї температурі обумовлює наявність на дифрактограмі тільки широкого симетричного

максимум, який за формою близький до максимуму вихідної плівки, проте він зміщений в область малих кутів і має велику інтегральну інтенсивність.

Важливим результатом дисертанта є пропозиція моделі, яка пояснила особливості формування мікроструктури поліімідних плівок в процесі їх охолодження та витримки при криогенних температурах і деформування в цих умовах. Суть цієї моделі полягає в тому, що в процесі швидкого охолодження утворюються області з упорядкованих макромолекул з щільністю, відмінною від щільності плівки у вихідному стані. Области з упорядкованими макромолекулами складаються з різної кількості взаємно упорядкованих полімерних макромолекул (в залежності від швидкості охолодження) і, отже, мають різну жорсткість. Тому для «руйнування» областей взаємного упорядкування полімерних макромолекул, отриманих при різних температурах, необхідне різне зусилля. В області взаємного упорядкування полімерних макромолекул формуються джгути, що складаються з макромолекул, вищикуваних уздовж напрямку деформуючих напруг. В рамках цієї моделі знайшли несуперечливе пояснення нові експериментальні результати дисертанта.

У **п'ятому розділі** «Відпал поліімідних плівок ПМА товщиною 80 мкм», наведені результати дослідження процесів відпалу поліімідної плівки.

Першим істотним завданням цього розділу стало встановлення можливості повернення шляхом відпалу деформованої при криогенних температурах поліімідної плівки у вихідний стан. Дисертант встановив таку можливість і визначив значення основних параметрів цього процесу. Показано, що в широкому інтервалі температур структура і властивості деформованої поліімідної плівки залишаються практично незмінними. Проте в області температур склування здійснюється різка зміна структури плівки і механічні властивості повертаються практично до вихідного стану. Але, як показали дифракційні досліджень, на мікроструктурному рівні реалізуються суттєві зміни. Про це свідчить різке зростання дифракційного фону, яке спостерігав дисертант. Гейдаров В.Г. гіпотетично вважає, що зростання дифракційного фону пов'язано зі зміною структури макромолекул, які стають лінійними або зменшуються в розмірах.

У **шостому розділі** «Розмірні ефекти» наведені результати вивчення мікроструктури поліімідних плівок різної товщини.

Перш за все в цьому розділі Гейдаров В.Г. отримав рентгенівські дифрактограми поліімідних плівок ПМА у вихідному стані товщиною 75 і 125 мкм. Незважаючи на те, що обидві плівки були у вихідному стані, на дифрактограмах виявилась істотна різниця. Якщо на дифрактограмі плівки товщиною 75 мкм спостерігався один широкий максимум, то на дифрактограмі плівки товщиною 125 мкм крім основного спостерігався яскраво виражений додатковий максимум. Це однозначно свідчить, що на надмолекулярному рівні в їх структурах існує суттєва різниця. Таку різницю дисертант пояснює тим, що в плівках товщиною 125 мкм орієнтування

макромолекул полімера відбувається не в квазидвovимірному просторі, а в тривимірному.

Дисертант експериментально спостерігав, що низькотемпературна деформація поліімідної плівки товщиною 75 мкм розширює максимум на дифрактограмі, а в плівках товщиною 125 мкм призводить до появи, або формуванню додаткових дифракційних піків, які дисертант пояснює формуванням областей з дальнім порядком

На закінчення слід зазначити, що дисертаційна робота Гейдарова В.Г. містить багато нових важливих результатів як для фундаментальної, так і для прикладної фізики твердого тіла при низьких температурах і фізики полімерів і представляють **наукову цінність** для розвитку цих областей фізики.

Достовірність і обґрунтованість результатів дисертаційної роботи Гейдарова В.Г. забезпечена: значною кількістю експериментальних даних, отриманих з використанням добре перевіреного комплексу експериментального устаткування; ретельністю постановки експериментів і обробки отриманих результатів.

Роботи дисертанта широко відомі науковій громадськості, її результати багаторазово доповідалися і обговорювалися на міжнародних наукових конференціях, симпозіумах.

Наукова значимість результатів дисертаційної роботи В.Г.Гейдарова полягає в тому, що вони являють собою основу побудови і розвитку теоретичних уявлень про надмолекулярні структури і властивості поліімідних полімерів у плівковому стані, їх трансформуванні в криогенній області температур в вихідному, деформованому і відпаленому станах.

Практична цінність результатів досліджень дисертанта безумовно висока. Поліамідні плівки набувають широкого впровадження в створенні передових технічних виробів космічного напрямку, криогенної оптики, систем розділення компонентів природних газів, їх зрідження і транспортування в рідкому стані, де вони працюють в умовах криогенних температур, піддаються не тільки пружньому, але і пластичному деформуванню. Саме такі дані наведені в дисертації Гейдарова В.Г.

Основні результати дисертації Гейдарова В.Г. опубліковані у **6 наукових статтях** у провідних спеціалізованих наукових виданнях, що індексуються у науко метричній базі даних Scopus, та **15 тезах доповідей** у збірниках праць міжнародних наукових конференцій.

По дисертаційній роботі Гейдарова В.Г. слід зробити **зауваження**:

- Під час обговорення ролі відпалу в формуванні дифрактограм поліімідних плівок (рис. 5.1) не вказано, що прийнято в якості фону інтенсивності випромінювання.
- Слід обережно зіставляти результати, отримані на поліімідній плівці ПМА (типу Kapton H) товщиною 0,08 мм та на поліімідних плівках ПМА товщиною 0,075 та 0,125 мм, тому, що вони виготовлені різними виробниками і можуть мати різну вихідну структуру.

- В роботі не проведено кількісний фазовий аналіз і не наведені чисельні дані про величину областей ближнього порядку
- В тексті дисертаційної роботи зустрічаються граматичні помилки, та неякісно оформлені рисунки

Наведені зауваження не стосуються сутності дисертаційної роботи, основних висновків і наукових положень, що виносяться на захист, і не впливають на загальну позитивну оцінку дисертації Гейдарова В.Г.

На закінчення слід зазначити, що за актуальністю, новизною, рівнем і достовірністю отриманих наукових результатів та їх практичною значущістю дисертація Гейдарова В.Г. «Структурні зміни у поліімідних плівках ПМА під дією глибокого охолодження, відпалу і низькотемпературної деформації» відповідає вимогам МОН України до кандидатських дисертацій, а її автор, Гейдаров В.Г., заслуговує присудження вченого ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальності 01.04.07 – фізика твердого тіла.

Анотеза повністю та вірно відображає зміст дисертації.

Офіційний опонент:

доктор фіз.-мат. наук, професор
Луганського національного аграрного
університету

Платков

В.Я.Платков

*Григорій Платкова В.Я. засвідчую
провідний західницький масажу*

