

Відгук

офіційного опонента

на дисертаційну роботу *Бурмаки Геннадія Павловича*

«Запорошена плазма в режимі розпаду та формування вуглецевих нанотрубок в плазмі», яку подано на здобуття наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.08-фізика плазми

Дослідження проблематики плазми, яка містить в собі нано- та мікрооб'єкти, є актуальними на протязі останніх 30 років. При цьому в них досліджувалась як запорошена (або комплексна) плазма – плазма, яка містить в собі відносно великі «пилові» частинки (порошинки), так і вертикально спрямовані вуглецеві наноструктури – нановолокна, наноконуси, нанотрубки. Вивчення запорошеної плазми актуальне з теоретичної точки зору – для вивчення термоядерного синтезу, властивостей іоносфери Землі, тощо. Дослідження формування нанотрубок має більш прикладний характер – за можливості використання їх при конструюванні електронних емітерів, біосенсорів, створюванні композиційних матеріалів.

Більшість дослідників, які вивчали запорошену плазму в режимі розпаду, розглядали випадок малої густини порошинок - коли вплив порошинок на втрати електронів у розряді є малим. Але, в результаті експериментальних досліджень ними було з'ясовано, що густина електронів у аргоновій плазмі в режимі розпаду з високою густиною порошинок на початку розпаду незвично зростає. Також, у більш сучасних дослідженнях, було виявлено високий негативний потенціал на електродах відносно заземлених стінок розряду та зроблено висновок, що вторинна електронна емісія за зіткнень іонів з поверхнею електродів може вплинути на концентрацію частинок в аргоновій плазмі в режимі розпаду.

У свою чергу, у присутності аргонової плазми вчені синтезували за допомогою плазмохімічного осадження з газової фази ліс (багато щільно розташованих) вуглецевих нанотрубок. Експериментатори показали, що у присутності плазми нанотрубки, розташовані на підкладці розрядної камери,

зростають більш рівними та довгими. Але, теоретично досліджувались ріст лісу нанотрубок за відсутності плазми, та ріст однієї нанотрубки в присутності плазми.

Виходячи з вищевказаного важливість та **актуальність** досліджень, проведених у дисертації, не викликає жодних сумнівів.

Дисертаційна робота Бурмаки Г.П. складається із вступу, огляду літератури, трьох глав основного тексту, висновків та список використаних джерел (220 найменувань) – усього 131 сторінок тексту.

У вступі автором дисертації сформульовано актуальність теми, мету, об'єкт, предмет дослідження та наукову новизну здобутих результатів. Особистий внесок дисертанта у роботи, опубліковані разом із співавторами, вказано докладно та чітко.

В огляді літератури розглянуто розвиток досліджень заповненої плазми та росту наноструктур в присутності плазми. Також ретельно розглянуто теоретичні та експериментальні роботи, що описують формування лісу нанотрубок.

У першому розділі досліджено вплив метастабільних атомів аргону на концентрацію електронів у заповненій аргонівій плазмі в режимі розпаду. У розділі побудовано модель постійної густини, за допомогою якої представлено в порівнянні часові залежності густини електронів у заповненій на незаповненій плазмі. В моделі враховано процеси генерації електронів у електрон-атомних зіткненнях та зіткненням метастабільних атомів між собою, а також при вторинній електронній емісії при взаємодії іонів з порошинками. Враховано також втрати електронів та іонів та втрата енергії електронів на стінках розрядної камери, а також на порошинках. Результати цієї моделі демонструють добре узгодження з експериментальними даними науковців Рурського університету (ФРН).

У другому розділі розглянуто вплив вторинної емісії на густину електронів у заповненій аргонівій плазмі в режимі розпаду. Розроблено теоретичну модель постійної густини, із припущенням, що у плазмі існує три групи електронів: теплові електрони з максвеллівською функцією розподілу за енергією; енергетичні електрони, що генеруються у зіткненнях метастабільних атомів між

собою; вторинні електрони, що генеруються за зіткнень іонів з поверхнею електродів. Отримані за допомогою цієї моделі часові залежності для концентрації теплових електронів було порівняно з експериментальними даними німецьких фахівців та зазначено, що вони знаходяться у доброму узгодженні. Показано, що концентрація енергетичних електронів більша у запорошеній плазмі, що є в режимі розпаду, ніж у незапорошеній, притому що концентрація енергетичних електронів менша за концентрацію теплових електронів. Концентрація вторинних електронів зменшується з часом через спадання концентрації іонів та є меншою за концентрацію енергетичних електронів, що пояснюється менш ефективною генерацією вторинних електронів у порівнянні з генерацією енергетичних електронів.

У третьому розділі розглянуто ріст лісу одношарових вуглецевих нанотрубок при плазмохімічному осадження з газової фази. У цьому розділі представлено дифузійну модель, в якій вуглецеві нанотрубки вертикально зростали з однаковою довжиною на частинках каталізатору на підкладці розрядної камери. Плазма знаходилась зверху над підкладкою, з неї осаджувались нейтральні вуглеводневі частинки та іони на стінки нанотрубок та поміж ними. В моделі враховано неоднорідність осадження частинок з газорозрядного об'єму на поверхню нанотрубок, взаємодію молекул вуглеводню та атомів вуглецю з газом, що травить, термічну та іон-індуковану дисоціацію адсорбованих на поверхні нанотрубок молекул вуглеводню, розпад на поверхні іонів вуглеводню, а також дифузійну атомів вуглецю по поверхні нанотрубок. За допомогою цієї моделі показано, як ріст лісу нанотрубок залежить від різних параметрів процесу його формування.

У висновках стисло підведені результати дисертаційної роботи за темою «Запорошена плазма в режимі розпаду та формування вуглецевих нанотрубок в плазмі»

Здобуті в роботі результати відповідають загальним положенням сучасної фізики плазми, узгоджуються з результатами інших авторів, що визначає їх актуальність та вірогідність.

Однак, зміст дисертації не позбавлено недоліків:

1. В роботі йдеться про плазму в режимі розпаду, але не сказано, що це таке – режим розпаду.
2. В роботі зазначається, що запорошена плазма потребує більш щільного дослідження в майбутньому, але не однозначно не вказано, в якому напрямку потребується це дослідження.
3. Зазначено, що коефіцієнти, які описують взаємодію пилових частинок та іонів і електронів, було розраховано в орбітальному наближенні. Не вказано, як саме, та що таке орбітальне наближення.
4. Назва роботи «Запорошена плазма в режимі розпаду та формування вуглецевих нанотрубок в плазмі». Але дуже слабо визначено зв'язок між першою та другою половиною назви.
5. Не вказано, як саме досягти стану «плазма розташована над нанотрубками» в моделі, яка описує формування нанотрубок.
6. Тривимірні рисунки, що дані у тексті дисертації важко сприймати.
7. Посилання 82 дублює себе у посиланні 120.

Наведені зауваження не стосуються основних положень, що виносяться на захист, не знижують високої оцінки дисертаційної роботи Бурмаки Г.П. і не впливають на достовірність отриманих результатів.

Дисертаційна робота ґрунтується на роботах, які своєчасно опубліковані у провідних фахових виданнях та відповідають чинним вимогам МОН України щодо публікації результатів дисертаційних досліджень. Особистий внесок дисертанта в роботи, виконані зі співавторами, точно відображений у дисертації та авторефераті. Матеріали дисертації доповідались на міжнародних конференціях, де пройшли добру апробацію. В цілому робота Бурмаки Г.П. являє собою закінчену науково-дослідну роботу. Дисертаційна робота і автореферат написані грамотною науковою мовою та містять чітке формулювання поставленої задачі та висновків.

В авторефераті повністю розкрито основні результати й положення, що виносяться на захист, та вірно відображено зміст дисертаційної роботи.

Вважаю, що дисертаційна робота «Запорошена плазма в режимі розпаду та формування вуглецевих нанотрубок в плазмі» та її автореферат повністю відповідають вимогам нормативних документів МОН України щодо кандидатських дисертацій, а її автор Бурмака Геннадій Павлович заслуговує на присвоєння йому наукового ступеня кандидата фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.08 – фізика плазми.

Офіційний опонент
старший науковий співробітник,
доктор фізико-математичних наук,
начальник лабораторії
Інституту плазмової електроніки та
нових методів прискорення
Національного наукового центру
«Харківський фізико-технічний інститут»
НАН України

Г.В. Сотніков

Підпис Сотнікова Г.В. засвідчую
Заст. Генерального директора
Національного наукового центру
«Харківський фізико-технічний інститут»
НАН України



I.M. Карнаухов