

РЕЦЕНЗИЯ

на дисертационен труд за получаване на научната и образователна степен “доктор”

Научна специалност: Физика на плазмата и газовия разряд

Автор на дисертационния труд: Тодор Ганчев Богданов

Тема на дисертационния труд: КОАКСИАЛЕН МИКРОВЪЛНОВ РАЗРЯД

Научен ръководител: доц. д-р Евгения Бенова

Рецензент: доц. д-р Живко Господинов Кисьовски, кат. Радиофизика и електроника при Физически факултет на СУ

Биографични данни

Тодор Богданов е завършил бакалавърска програма "Физика" на Физически Факултет на СУ „Св. Климент Охридски“ през 2010 г. Той е получил степен магистър по физика през 2013 г., завършвайки програма "Термоядрен Синтез и Плазмени Технологии" към кат. Оптика и Спектроскопия на Физически Факултет. От 2013 до 2015 г. е редовен докторант към същата катедра.

Преглед на получените резултати и характеризирание на основните постижения.

Дисертационният труд включва 5 глави, заключение, списък на публикациите, цитирана литература, едно приложение с част от теоретичния модел и има обем от 132 страници. Дисертацията съдържа 87 фигури, 5 таблици и са цитирани 110 литературни източника.

В първа глава са въведени основни понятия и параметри на плазмата, и са посочени видовете газови разряди, като по-подробно са описани разрядите създадени и поддържани от бягаша повърхнинна вълна. Поради малкия обем на тази глава, представената информацията не е достатъчно пълна и последователна.

Глава 2 е обзор на експерименталните и теоретични изследвания на коаксиалните микровълнови разряди и на микровълновите разряди върху диелектричен вълновод. Подробно са описани реализираните досега няколко експериментални постановки на

коаксиални разряди и са анализирани получените резултати за плазмените параметри. Критично са представени и резултатите за плазмените параметри получени от теоретичните модели за различни конфигурации на коаксиални разряди. Поради сложната структура на разрядите, съответните модели само приблизително описват поведението на разряда и стойностите на параметрите, получени от експериментални измервания. В третия раздел на тази глава са представени приложенията на коаксиалните разряди - за отлагане на тънки диелектрични слоеве върху метални подложки, в плазмените технологии (индустриалните коаксиални източници на плазма Plasmodul® и Planatron®), за стерилизация чрез UV излъчването на плазмата, за светлинни източници и др., което показва актуалността и важността на изследванията в дисертацията. В края на тази глава са формулирани целите на дисертационния труд, като основната цел е създаването на едномерен флуиден модел за теоретично описание на вълновите и плазмени характеристики на коаксиален разряд, даващ възможност за изследване на четири различни геометрични конфигурации.

Създаденият модел на разпространението на азимуално-симетрични, диполни и квадруполни ЕМ вълни и изследване на способността им да поддържат плазмен стълб в посочените четири конфигурации е описан в глава 3. В модела са включени извод на дисперсионното уравнение и на уравнението за баланс на енергията на вълната в плазмата, в цилиндрични координати. Тези уравнения са решени за многослойна вълноводна структура, включваща метална антена, диелектрични тръби, плазма и метален екран. Това е многопараметрична задача, която освен честотата на ЕМ вълна и плазмената плътност, включва аксиалното k_z и азимуталното вълново число m , плазменния параметър σ и отношенията на радиусите на металната антена, диелектрика, и металния екран, представени в нормиран вид с параметрите η , γ и α . Част от извежданията и получените математични изрази за амплитудните функции на компонентите на ЕМ поле са поместени в Приложение 1 към дисертацията. Показани са областите на права и обратна вълна във фазовите криви и е обяснена връзката им с режима на поддържане и устойчивост на разряда.

Основно място в дисертацията заемат резултатите от последователното моделиране на разпространението на ЕМ вълни и създаването на плазма в четирите структури, които

са представени в четвърта глава. Микровълновият разряд при ниско налягане на неутралния газ, възникващ на повърхността на цилиндричен диелектричен вълновод, е нова структура привличаща вниманието с възможността да се създава плътна плазма. Получените резултати за разпределенията на полетата, нормираните плътност и поток на мощността, показват различни възможности за поддържане на разряд от симетричен, диполен и квадруполен мод, и несъмнено са принос в теорията на тези разряди. Отчитайки диелектричната проницаемост и размери на цилиндричния вълновод, чрез който се подава микровълновата мощност, с модела могат да се подберат оптимални газоразрядни параметри за създаване на плазма.

Особен интерес представлява слабо изследваната досега структура метал-диелектрик-плазма, която може да създава плазмен стълб в широки граници от параметри при възбуждане на всеки от трите мода. Теоретично получената електронна концентрация нараства с увеличаване на радиуса на металната антена при запазване на постоянно ниво на потока на мощността, като в модела са пренебрегнати възможните радиационни загуби.

В дисертацията е направено изследване на възможността за поддържане на коаксиални разряди без и с метален екран от бягащи ЕМ вълни, при промяна на параметрите σ , η , γ и разстоянието на металния екран от оста на разряда (α) и ефекта им върху фазовите диаграми и аксиалните профили на плазмената плътност и вълновата мощност. Практическо значение при конструиране на коаксиални разряди могат да имат теоретичните резултати, че при всички вълнови модове ($m=0, 1, 2$) по-плътна плазма се създава при по-голям плазмен радиус (по-голям параметър σ), при по-голяма дебелина на металната антена (по-голям параметър η), при по-тънка въздушна междина (по-малък параметър γ) и при по-висока диелектрична проницаемост (по-голяма ϵ_d) на диелектрика.

Теоретичните резултати, за поведението на нормираната плътност в коаксиален разряд получени в дисертацията, са в съгласие с експериментални данни за този разряд, получени от други автори.

Експериментално изследване на заселеностите на метастабилните s-нива на неон в коаксиален микровълнов разряд чрез измерване на абсорбционни спектри е представено в глава 5. Изследването е проведено в Масариковия университет в Бърно (Чехия) по време

на работа на дисертанта по програмата CEEPUS (2010 г.) и по програмата ERASUM в Техническият Университет в Бърно (2012 г.). Създаването на експерименталната постановка с коаксиален микровълнов разряд, измерванията и обработката на резултатите са проведени с активното участие на дисертанта. Получени са резултати за плазмените параметри и електричното поле в разряда (E/N), тяхното аксиално разпределение и функцията на разпределение на електроните по енергия.

Работата на дисертанта по темата е осъществена с финансовата помощ от договори с фонд „Научни изследвания“ към Софийски университет „Св. Климент Охридски“ № 187/2015 г., № 175/2014 г., № 183/2013 г., № 84/2012 г., № 197/2011 г., № 109/2010г. и по проект BG 051 PO001–3.3.06–0057, финансиран по Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси“.

Оценка на приносите

Основните приноси в дисертацията биха могли да се обобщят по следния начин:

- разработен е едномерен флуиден модел за описание на разпространението на EM вълни в многослойни канализиращи микровълнови структури (диелектрик–плазма, метал–диелектрик–плазма, метал–вакуум–диелектрик–плазма, метал–вакуум–диелектрик–плазма–метал) и са установени условията за поддържане на плазма в тях.
- получени са резултати за фазовите криви, нормираните плътност и поток на мощността в четирите конфигурации, при разпространение на вълни с различно азимутално число ($m = 0, 1, 2$) и е установен модът създаващ най-дълъг плазмен стълб за всяка една конфигурация, при конкретни стойности на плазмения параметър σ , геометрични параметри (η, γ, α) и диелектрична проницаемост (ϵ_d).
- наличието на метална антена в конфигурацията метал–диелектрик–плазма, позволява създаването на плазмен стълб от азимутално-симетрична вълна в широк диапазон от стойности на диелектричната проницаемост на диелектрика и плазмения радиус.
- установено е влиянието на параметрите $\sigma, \eta, \gamma, \alpha$ върху вълновите и плазмените характеристики при четирите конфигурации, като варирайки геометричните параметри и

диелектричната проникваемост (ϵ_d), може да бъде създадена плазма със зададена плътност за конкретно приложение.

Публикации и тяхното отражение в литературата

Резултатите, представени в дисертацията, са отразени в 11 публикации. Една от публикациите е в J. Phys. D: Appl. Phys (импакт фактор - IF 2.53) и втора е изпратена за публикуване в същото списание. Две публикации са в рецензирано научно списание, притежаващо импакт-ранк - Journal of Physics: Conference Series и 7 публикации в пълен текст в материалите на Международни конференции. В 5 от публикациите Тодор Богданов е водещ автор, а в другите 6 той има основен или съществен принос в получаване на резултатите. Забелязани са 2 независими цитирания на експерименталната статия J. Phys. D: Appl. Phys. 46 (2013) 295204. Броят на публикациите отговаря на препоръчителните изисквания на Физическия факултет на Софийския университет, приети за ОНС "доктор". Тодор Богданов е осъществил като студент и докторант участие на 17 национални и международни научни конференции с 10 устни доклада и 7 постера.

Критични бележки и препоръки на рецензента

В дисперсионното уравнение в глава 3, се пренебрегва влиянието на честотата на еластични удари електрони-неутрали и се използва осреднена по радиуса концентрация на електроните. Тези приближения изискват обосновка и определяне на областта от налягания на неутралния газ и газоразрядни параметри, за които е приложим този модел.

В модела от глава 4, трябва да се включат и загубите в диелектричния вълновод и да се отчете тяхното влияние върху затихването на ЕМ вълна и дължината на плазмения стълб. В дисертацията няма описана класификация на вида ЕМ вълни (TE_m , TM_{mn} , TE_{mn} , EH_{mn} , HE_{mn}) поддържащи разрядите в структурите диелектрик-плазма, метал-диелектрик-плазма, метал-вакуум-диелектрик-плазма и метал-вакуум-диелектрик-плазма-метал, което затруднява интерпретацията на получените резултати. Основите модове в тези структури могат да бъдат различни и съответно с различно дисперсионно поведение.

Въпроси към дисертанта

1. Как ще се отразят на получените като резултати фазови диаграми, аксиални разпределения на нормираната плазмена плътност и безразмерната вълнова мощност, отчитането на еластичните удари електрони-неутрали?
2. Как се възбуждат диполния и квадруполен мод в структурите диелектрик-плазма и метал-вакуум-диелектрик-плазма? Може ли да се осигури едномодов режим в тези разряди?

Автореферат на дисертацията

Авторефератът съдържа 47 страници и правилно отразява съдържанието на дисертационния труд.

Заклучение

От представените данни в дисертационния труд, може да се заключи, че той съдържа научни резултати, които представляват принос на дисертанта в изследванията на електродинамиката на микровълновите разряди, създавани и поддържани от бягащи ЕМ вълни. Представеният труд, публикациите по темата и дискусиите с дисертанта по получените резултати, показват че той притежава задълбочени теоретични познания в тази област и притежава способности за самостоятелни научни изследвания. На базата на представените материали, извършената работа и отчитайки научните приносите на Тодор Богданов считам, че са изпълнени изискванията на ЗРАСРБ и правилника на СУ "Св. Кл. Охридски" за неговото прилагане, както и основна част от препоръчителните изискванията на Физическия факултет на СУ за присъждане на образователната и научна степен „доктор”. Препоръчвам на уважаемото научно жури да присъди на Тодор Ганчев Богданов степента "доктор".

София

Рецензент:

31.03.2016

/доц. д-р Ж. Кисъовски/