

РЕЦЕНЗИЯ

на дисертационен труд за придобиване на образователната степен „доктор”

Автор на дисертационния труд: асистент Стефан Илиев Каратодоров, редовен докторант в Институт по физика на твърдото тяло „Акад. Георги Наджаков”

Тема на дисертационния труд: Комбиниран плазмен източник за емисионна спектроскопия: Лазерно-индуцирана плазма в разряд в кух катод

Рецензент: Николай Недялков Недялков, дфн. проф. в Институт по електроника „Акад. Е. Джаков”

1. Актуалност на разработвания в дисертационния труд проблем в научно и научно-приложно отношение.

Представеният дисертационен труд е насочен към разработването на теоретична и експериментална основа на спектрален източник, комбиниращ лазерна аблация с разряд в кух катод. Основното приложение на такава система е в областта на високо чувствителната детекция, включваща качествен и количествен анализ на различни материали. Методът, на който почива предложената техниката се основа на LIBS (Laser induced breakdown spectroscopy). Развитието на лазерната техника до нива даващи възможност за ефективна модификация (включваща и аблация) на всички познати вещества, определя широките перспективи на тази техника. Вече тя е комерсиализирана, като са демонстрирани редица предимства – възможност за анализ на широк кръг материали, бърз анализ, възможност за работа извън лабораторни условия и дистанционна детекция. Тези предимства поддържат значителен интерес към тематиката, като насоките са към повишаване на чувствителността и възможност за прецизен количествен анализ. Предложените решения включват комбинирането на лазерната аблация с други спектрални техники, които дават възможност за допълнително, ефективно възбуждане на изследваното вещество. Една такава техника е комбинирането на лазерна аблация с тлеещ разряд в кух катод. Изследванията по темата показват, че такава комбинация дава значителни предимства по отношение на ефективна йонизация и ефективно възбуждане на атомите на изследваното вещество. Получените сигнали съдържат тесни и ярки линии, с висока повтаряемост. Макар, че комбинирането на лазерна аблация с разряд в кух катод да се изследва от години, поради комплексността на включените процеси, все още не са изяснени редица въпроси, свързани с динамика на компонентите на плазмата при такива неравновесни условия, оптимизацията и получаване на стойности на различните експериментални параметри, определящи висока чувствителност и повтаряемост на резултатите. Тези въпроси налагат разработването на нови, комплексни теоретични модели

и нови системи с различни геометрии. На тяхна база ще може да се разработи техника с желани параметри и ефективност.

В представената дисертация е направено едно комплексно изследване на комбинирания метод, включващ лазерна аблация и разряд в кух катод, което се основава на теоретичен подход за описание на динамиката на процесите на атомизация, възбуждане и йонизация, разпределението на електроните по енергии, оценка на ефективността на процесите на взаимодействие между компонентите в активната среда. Разработена е и експериментална система, като на нейна база са демонстрирани експериментални резултати, потвърждаващи теоретично предсказанията и е показана по-висока ефективност в детекция на метали на комбинирания метод в сравнение със класическата LIBS и разряд в кух катод. Разработените проблеми са насочени към все още неизяснените особености на комбинирания метод, което подчертава актуалността на предложената тематика.

2. Познава ли дисертантът състоянието на проблема и оценява ли творчески литературния материал.

В Глава 1 е представен обзор на литературата отнасяща се към тематика на дисертацията. Разгледани са основните понятия и зависимости за плазма, лазерна аблация, LIBS, разряд в кух катод и комбинацията на лазерна аблация с разряд в кух катод. Използвана е литература от 146 източника. На тяхна база дисертантът е формулирал основните процеси и проблеми, свързани с посочените методи. Представеният обзор и съдържанието на този раздел показват познаване на проблема и възможност за творческа оценка.

3. Избраната методика на изследване може ли да даде отговор на поставените цел и задачи на дисертационния труд.

Целите и задачите на работата по дисертацията са формулирани ясно: създаване на спектрален източник, комбиниращ лазерна аблация в разряд в кух катод с нови конфигурации; характеризиране на оптичното излъчване, изясняване на процесите протичащи при комбинираното действие на лазерна аблация и разряд в кух катод. Приложените методи и методика на работа са подбрани целенасочено за постигане на поставените цели и задачи. Те включват един комплексен анализ проведен на базата на теоретични модели и експериментална работа с разработени за целта системи. Предложени са два теоретични модела с база симулационен пакет PLASIMO: кинетичен, базиран на метода на Монте Карло, описващ функцията на разпределение на електроните по енергии и оценка на ефективността на процесите на възбуждане и йонизация; и флуиден модел описващ пространственото и времево разпределение на частиците в обема на разряда при отчетен поток от лазерна аблация. Тези модели адекватно могат да опишат основните процеси реализиращи се в комбинирания източник. Експерименталната част включва разработването на система, комбинираща наносекундна лазерна аблация в разряд

в кух катод, която позволява изследването на основните характеристики и зависимости, необходими за реализирането на поставените цели.

4. Кратка аналитична характеристика на естеството и на достоверността на материала, върху който се градят приносите на дисертационния труд.

Изследванията, които имат приносен характер за отразени в Глави 2,3,4 и 5. В Глава втора е представен модел, базиран на метода Монте Карло и основни резултати от него за описание на разпределението на електроните по енергии и ефективността на процесите на възбуждане и йонизация в тлеещ разряд в кух катод. Като основа на модела е използван пакета PLASIMO, за чиято надеждност и достоверност може да се съди по редицата публикации, в които той е използван. На базата на метода са определени сеченията за еластични и нееластични удари за електроните в разряда. Оценено е, че най-вероятния нееластичен процес е йонизацията. Оценена е пространствената област, където процеса е най-ефективен. Методът е приложен и за оценка на разпределението по енергии на електроните, като са дефинирани различни групи, имащи различна роля в процесите в разряда. Оценена е и функцията на разпределение в различни части на катода. Представени са и типични траектории за електрони от различни групи.

Теоретичният подход е развит и в Глава 4, където е приложен флуиден модел описващ процесите в комбинираната система, включваща лазерна аблация – разряд в кух катод. На тази база са определени важни характеристики, като времена за установяване на стабилен режим в разряда, пространственото разпределение на частиците, тяхната динамика при въвеждане в обема на атоми от анализираното вещество и ефективността, динамиката и пространствените характеристики на основните процеси в плазмата – различни типове възбуждания и йонизация.

Представените от теоретичните работи резултати, дават възможност да се определят основните механизми и зависимости на разряда в кух катод и в комбинираната система лазерна аблация в кух катод. Те могат да бъдат основа за построяване на комплексна фундаментална физична картина на газови разряди в по-комплексни системи, а също така и за оптимизация на реални устройства. Надеждността и достоверността на приложените модели е потвърдена със сравнение на резултати с такива от експерименти, като е демонстрирано добро съвпадение.

Експерименталната част от дисертационния труд включва изследване на емисионни характеристики на комбиниран спектрален източник, включващ лазерна аблация в разряд в кух катод. Използвана е експериментална система, която дава възможност за изследване на различни характеристики, като: ролята на буферния газ и неговото налягане върху спектралните характеристики; разстоянието между катода и аблирания образец. На тази база са определени оптимални стойности за конкретната система, при които се получават максимални сигнали от анализирания материал. С помощта на разработената система е

демонстрирано и повишаване на интензивността на линиите от комбинирания източник, в сравнение с тези от лазерна аблация и разряд в кух катод, което е основен резултат в тази работа.

Разработена е и експериментална система за провеждане на изследвания на времевата еволюция на излъчването от комбинирания спектрален източник. Анализираният материал е сребро, а използваната схема е с перпендикулярна конфигурация. Получени са резултати за стойностите на интензитета на спектрални линии на анализирания материал в различни моменти след действието на лазерния импулс за комбинираната система лазерна аблация в кух катод, лазерна аблация и разряд в кух катод. Представените резултати показват увеличаване на сигнала при комбинираната система, което може да достигне един порядък, в сравнение с другите два. Получените резултати са обяснени на базата на описанието на процесите в комбинираната система и разряда в кух катод, получени от представените теоретични изследвания и от теориите предложени от други автори.

5. В какво се заключават научните и научно-приложни приноси на дисертационния труд.

Приносите в дисертационния труд могат да се класифицират като:

Получаване и доказване на нови факти

Създаден и изследван е емисионен спектрален източник, комбиниращ лазерна аблация с разряд в кух катод. Демонстрирано е повишаване на интензитета на спектралните линии на изследвано вещество, в сравнение с отделните лазерна аблация и разряд в кух катод.

Разработен е кинетичен модел базиран на метода на Монте Карло, с който са получени нови данни за функцията на разпределение на електроните по енергии в разряд в кух катод, както и ефективността на процесите на възбуждане и йонизация.

На базата на разработен флуиден модел са описани пространственото и времево разпределение на компонентите и протичащите процеси в комбинирана система, включваща лазерна аблация и разряд в кух катод

Получени са нови експериментални резултати за времевата еволюция на интензитета на спектрални линии излъчвани от комбинирания източник. Демонстрирано е усилване на детектирания сигнал, което е около един порядък в сравнение с самостоятелната лазерна аблация.

Проведеното изследване представя една комплексна картина на процесите в разряд в кух катод и комбинирането му с наносекундна лазерна аблация. Разработените теоретични модели и експериментални системи, дават възможност за изясняване на основните характеристики на тези процеси, както и за ефективна оптимизация. Използваните параметри на разглежданите системи в теоретичните модели и разработените

експериментални системи са съвместими със стандартните и комерсиални LIBS системи, което доближава получените резултати до лесен трансфер в конкретни практически приложения. Получените знания могат да бъдат лесно пренесени към други системи, което разширява обхвата на проведеното изследване. Демонстрирането на усилване на интензитета на спектралните линии на анализирания материал в хибридни източници, в сравнение с класическата LIBS, има директна връзка с приложение във високочувствителната детекция на различни материали.

6. До каква степен приносите в дисертационния труд са личен принос на дисертанта.

В представените 6 публикации на дисертанта в 5 от тях той е пръв автор, което показва неговия основен принос в получените резултати.

7. Преценка на публикациите по дисертационния труд.

Представени са 6 публикации, в които са отразени основни резултати от работата по дисертацията. Две от публикациите са в списания с импакт фактор – J. Phys. D и Open Chemistry, като това доказва значимостта и оригиналността на получените резултати. 5 от публикациите са в международни издания. Забелязани са пет цитирания на две от работите, като те са от последните три години, което показва актуалност на тематиката и висока научната стойност на представените резултати.

8. Препоръки за бъдещо ползване на научните и научно-приложни приноси.

Получените резултати в рамките на тази дисертация са една солидна основа за бъдещо развитие на изследвания и приложения на комбиниран спектрален източник. На базата на разработените модели и експериментални системи, като следваща стъпка може да се разработи прототип на оптимизиран източник с подобрени характеристики, в сравнение с класическата LIBS.

9. Авторефератът е изготвен съгласно изискванията, като в него са отразени основните резултати, заключения и приноси на дисертационния труд.

10. Въпроси и критични бележки.

1. В Глава 5 е представен комбиниран източник с различна геометрия от този разглеждан в предишните глави. Какво налага използването на друга геометрия и основните характеристики (формиране на различни области в заряда, пространственото разпределение на частиците и процесите на възбуждане и йонизация) имат ли значителна промяна?
2. В Глава 5 е разглеждана времевата еволюция на емисионните характеристики на изследвано вещество (Ag). Направено е сравнение между интензитетите, получени при разряд в кух катод, лазерна аблация и комбиниран източник. Това сравнение е направено за момент 10 μ s след действието на лазерния импулс. По отношение на

максимална интензивност на сигнала от плазмата от лазерна аблация, този момент не е оптимален. Как би се променило това сравнение ако се отчита момента на максимален сигнал от лазерно индуцираната плазма?

Дисертацията е написана ясно и е лесно за читателя да проследи логиката на проведените изследвания. В нея обаче има много технически грешки. Някои от фигурите имат едно и също описание (например Фиг. 1.1 и 1.2), описанието на някои графики не съответства на представената фигура (например Фиг. 1.3). Има литература означена като ?? (пример стр. 45). Неясни означения (пример стр. 48, sections 2.3, 2.3, and 2.3, Фиг. 6.12, 6.13 стр. 94) и непълна информация в някои фигури и уравнения (пример Фиг. 2.8, Ур. 1.1, Фиг. 4 стр. 71 липсва). Описанието на модела PLASIMO се повтаря в увода на две глави. В обзорната Глава 1 е нужно да се добавят допълнителни литературни източници.

Забележките за техническото изпълнение на се отразяват на общото впечатление и не намаляват научната стойност на получените резултати.

11. Заключение

Въз основа на гореизложеното считам, че дисертационният труд „Комбиниран плазмен източник за емисионна спектроскопия: Лазерно-индуцирана плазма в разряд в кух катод” с автор асистент Стефан Каратодоров, съдържа съществени приноси с важно значение за науката и практиката в областта на емисионната спектроскопия. Дисертантът е придобил умения, познания и научен опит, необходими за научната степен „доктор”. **Изразявам убеденото си мнение да се присъди научната степен „доктор” на асистент Стефан Каратодоров.**

07.04.2017

Рецензент:

Проф. дфн Николай Недялков