

РЕЦЕНЗИЯ

по конкурс за професор
по професионално направление
4.2. Химически науки, специалност „Физикохимия“
обявен в ДВ брой № 107 от 20.12.2024 г.

с кандидат Светлозар Димитров Иванов, д-р, доцент (Dr. Habil.)

Рецензент: Мартин Славчев Божинов, дхн, професор

1 Общи положения и кратки биографични данни за кандидата

Светлозар Иванов е роден през 1976 г. в гр. Сливен. Завършва химия, специализация Чисти и особено чисти вещества, в Софийския Университет "Св. Климент Охридски" през 2000 г. През 2006 г. защитава докторска дисертация на тема „Модифициране на проводящи поли анилинови покрития чрез токово и без токово отлагане на метални частици“ в Института по физикохимия „Академик Ростислав Каишев“ на БАН под ръководството на проф. Весела Цакова. Работи последователно като научен сътрудник в ИФХ-БАН (2007-2010), пост докторант в университета Бар Илан, Рамат Ган, Израел (2010-2011) и Технически Университет Илменау (2011-). През 2019 г. се хабилитира в същия университет с тема на хабилитационния труд „Нови материали и съвременни аналитични техники за приложение в изследването и технологията на литиево-йонните батерии“. Светлозар Иванов е ръководител, съ-ръководител и участник в проекти финансирани от Германското Научноизследователско Дружество и от частни възложители. Член е на Международното Електрохимично Дружество (ISE) и Американското електрохимично дружество (ECS). През 2003 г. получава награда на БАН за най-млад учен (до 30 г.). Преподавателската му дейност включва лекции и семинари по Електрокристализация, Електрохимия и корозия, упражнения в областта на електрохимичното съхранение на енергия и галванотехниката, ръководство на дипломни работи на бакалаври и магистри, както и трима защитили докторанти.

2 Описание на представените материали

Светлозар Иванов е съавтор на 60 публикации в периода 2001-2025 г. Освен това през последните 10 години той е изнесъл над 15 доклада на международни научни форуми. Неговите публикации са предимно в престижни международни списания, като *Electrochimica Acta* (11), *J. Appl. Electrochem.* (9), *Journal of Power Sources* (5), *Electrochem. Commun.* (3), и др. Преди участието си в настоящия конкурс, Светлозар Иванов е защитил дисертация за получаване на образователната и научна степен доктор (2006) и се е хабилитирал като доцент (2019). В този смисъл ще бъде рецензирана само тази част от научните трудове, които се отнасят до конкурса за професор.

Светлозар Иванов участва в конкурса за професор с 6 статии в списания с квартали Q1 и Q2, еквивалентни на хабилитационен труд, и 8 публикации в списания с квартали Q1 и Q2 извън хабилитационния труд. Представени са и две глави от колективни монографии, както и две заявки за патенти. Представените работи са цитирани над 60 пъти, което е много добър показател, тъй като те са публикувани през последните 5 години. Светлозар Иванов е ръководител и съ-ръководител на трима защитили

докторанти. Най-общо може да се заключи, че неговите показатели надвишават както минималните национални изисквания, така и специфичните изисквания на правилника на ИФХ-БАН. Предвид сложността на изследваните системи и широкия спектър от използвани методи често в публикациите участват сравнително голям брой автори. В значителна част от включените в конкурса публикации Светлозар Иванов е първи и/или кореспондиращ автор. Общият преглед на трудовете недвусмислено показва, че в преобладаващата част от представената научна продукция Светлозар Иванов има водещо участие.

3 Обща характеристика на научно-изследователската и научно- приложната дейност на кандидата

Научните и научно-приложни изследвания на Светлозар Иванов са в динамично развиваща се интердисциплинарна област – синтез и характеризиране на материали за, и методи за изследване и изпитване на литиево- и натриево-йонни батерии. В следващите раздели накратко ще бъдат разгледани основните получени резултати, генерираните идеи и интерпретации.

3.1 Отлагане на силиций от сулфоланови електролити и йонни течности и приложения на покритията в натриево-йонни батерии

Проведено е сравнително изследване на процеса на електро-отлагане на силиций из електролити на основата на сулфолан и йонни течности. За изследване на параметрите на процеса и свойствата на покритието са приложени електрохимични, микро-гравиметрични и спектроскопски методи. Покритието, отложено от йонна течност, е по-значително замърсено с с продукти от разпадането на електролита, в сравнение със слоевете отложени от сулфоланов електролит. Установено е, че субстратът играе важна роля за редуцията на силициевия тетрахлорид и влияе съществено върху свойствата на покритието, като По-ефективно отлагане се наблюдава върху метални електроди поради ускорената кинетика на реакцията върху този тип подложки.

Зародишеобразуването и растежът на Si върху стъкловъглерод из йонни течности е изследвано с електрохимичен метод и моделирано чрез нелинейна процедура. Намерен е преход между моментално и прогресивно зародишеобразуване в зависимост от свръхнапрежението. Силициевите покрития са изпитани като аноди за натриево-йонни батерии, като е установен висок специфичен капацитет при дълготрайно бързо циклиране. Най-високи електрохимични характеристики са достигнати за Si, отложен от сулфоланов електролит върху пореста медна подложка, получена по електрохимичен път.

3.2 Синтез на никелови влакна с приложение като аноди за литиево-йонни батерии

Никелови нано влакна със структурирана повърхност са получени чрез процес *chimie douce*, отговарящ на изискванията на зелената химия (*one-pot reaction*). При по-ниски температури на синтез са получени Ni/NiO структури с по-малък брой дефекти, поддържащи по-висок обратим капацитет и добра стабилност при многократно циклиране.

3.3 Електрични и електрохимични свойства на границата метален литий/електролит

Чрез електрохимична импедансна спектроскопия е изследвано влиянието на разтворими полисулфиди и литиев нитрат върху характеристиките на пасивиращия слой (solid-electrolyte interface, SEI), образуван спонтанно върху повърхността на Li, преди циклиране. Изследваните индивидуални добавки увеличават съпротивлението на междофазовата граница, докато комбинацията им го намалява. При циклиране в електролити на основа DME без добавки не се наблюдават значими промени в морфологията на пасивиращия слой, докато присъствието на полисулфиди и литиев нитрат огрубява и хетерогенизира морфологията. Образуването на SEI в електролити модифицирани с дифенил октил фосфат и винилен карбонат е проследено в реално време чрез електрохимична кварцова микровезна (EQCM). Бързо образуване на SEI се наблюдава в електролит, съдържащ дифенил октил фосфат, докато във винилен карбонат -модифицирани и не-модифицирани електролити растежът е по-бавен. Образуването на SEI е изследвано и чрез in-situ електрохимична дилатометрия. Наблюдавано е, че добавянето на винилен карбонат)намалява необратимото разширение на графитния анод, докато отсъствието на тази добавка води до голямо необратимо разширение на електрода. Импедансният анализ разкрива, че образуването на SEI в присъствието на VC ограничава йонния транспорт в порестия анод.

3.4 Корозионни процеси в литиево-йонни батерии

Методът Тагучи е използван за определяне на относителното влияние на експерименталните параметри върху скоростта на корозионния процес в литиево йонните батерии. Показано е, че най-силно влияние имат свойствата и структурата на литиевата сол, последвани от температурата и състава на сместа от разтворители. С помощта на комбиниран in situ ZRA (Zero-Resistance-Amperometry)-QCM метод е изследвана корозията на лития в контакт с медна подложка, (Cu-Li). Тази комбинация позволява успоредно с галваничния ток да бъде измерен и гравиметричен сигнал на отлагане или разтваряне. Процесът на Cu-Li контактна корозия е изследван в електролит на основата на сулфолан, при което е установено, че адсорбиран слой от полиетиленоксид (PEO) върху медната повърхност може да бъде приложен за инхибиране на корозията. Разгледани са и механизмите на корозия на алуминия в литиево йонните батерии, методологиите за анализиране на процеса и начините за ефективното му инхибиране. Представени са подходящи примери на влиянието на важни фактори като състава на електролита, температурата и електрохимичните параметри, за изясняване механизма на корозия на алуминия в тези среди. Анализът обобщава възможните пътища за инхибиране на корозията чрез регулиране на електрохимичната система и оптимална работа на положителния електрод на батериите.

3.5. Изследвания в областта на фундаменталната електрохимия

Направен е общ преглед на различните видове механизми за съхранение на заряд в електрохимичните системи за съхранение на енергия. Формулирана е дефиниция на псевдокапацитет и количествена рамка за разграничаването му от (ограничени от дифузия) процеси на съхранение на фарадеев заряд. Разработена е методология за това как да се идентифицира и количествено разделя фарадеевото, псевдокапацитивното и капацитивното съхранение на заряд, като се използват конвенционални електрохимични методи. Направено е описание на примерни електрохимични системи за съхранение на

енергия, които комбинират характеристики на батерия, кондензатор и псевдокондензатор. Представен е актуализиран критичен преглед на основните стратегии за структуриране 3D медни подложки като токови колектори, методологии за анализиране на тези структури и подходи за ефективен контрол на техните свойства. Методите са описани в контекста на практическото им приложение. Обсъдена е и взаимовръзката между свойствата на токовите колектори и функционалните параметри на интеркалационните електроди.

4 Основни научни и научно-приложни приноси

Като цяло, научно-изследователската дейност на Светлозар Иванов е хомогенна и обхваща изследвания в областта на основните и съпътстващи процеси в литиево- и натриево-йонни батерии, а така също трудове, свързани с усъвършенстване методологията на изучаване и изпитване на сродни електрохимични системи. Анализът на научната продукция на Светлозар Иванов дава възможност да бъде направено обобщение на основните научни и научно-приложни приноси, както следва:

4.1 Обогаляване на съществуващи знания и теории

- 4.1.1 За пръв път електролит на основата на сулфолан е използван за електрохимично отлагане на силиций. Подбраните експериментални условия позволяват образуването на тънки Si слоеве с ниска грапавост и минимално включване на органични замърсители. По-ефективно отлагане се наблюдава върху металните електроди (мед, никел) и в двата електролита поради ускорената кинетика на реакцията върху този тип подложки.
- 4.1.2 Приложен е теоретичен модел за тримерно зародишообразуване, отчитащ разпространението и припокриването на дифузионните зони, за интерпретация на електрохимичното зародишообразуване и растеж на силиций върху стъкловиден въглерод в йонна течност. В допълнение към установената методология за анализ на максимумите на тока в безразмерни координати, е представена и интерпретация на целия процес на зародишообразуване чрез нелинейна процедура.
- 4.1.3 Демонстриран е синергизмът на добавките от полисулфид и литиев нитрат за намаляване електричното съпротивление на пасивиращия слой на граищата литий/електролит (SEI). Предложена е интерпретация на този синергизъм въз основа на рязкото изменение на морфологията на слоя на междофазовата граница в присъствие на този тип добавки. Чрез комбинация от in-situ методи е демонстрирано влиянието на добавки от винилен карбонат и дифенил-октил сулфат върху SEI, като първият подобрява стабилността на пасивиращия слой, като ограничава йонния транспорт през него, докато вторият го дестабилизира поради включване на слабо свързани частици.

4.2 Научно-приложни приноси

- 4.2.1 Електро-отложените слоеве от силиций върху медна подложка са изпитани като аноди за литиево- и натриево-йонни батерии, като резултатите показват висок специфичен капацитет, дългосрочна електрохимична стабилност, запазвайки капацитет от 540 mAh g^{-1} за най-малко 400 галваностатични цикъла при ток на циклиране 150 mA g^{-1} . Предложено е, че обратимостта на материала в натриево-йонния електролит се дължи на съвместен принос на въглеродни и силициеви редокс центрове, докато стабилността на капацитета - с тяхната подобрена механична стабилност и ускорен транспорт на натриеви йони в порестата структура на анода.
- 4.2.2 Синтезираните чрез нискотемпературна химична реакция никелови микровлакна са изпитани като аноди за литиево-йонни батерии без свързващо вещество, като е установено влиянието на температурата на синтез върху стойностите на обратимия капацитет и стабилността при циклиране.
- 4.2.3 Предложен е иновативен метод за изследване на контактна корозия в системата Cu-Li, основаващ се на комбинация между ZRA и QCM. В описания случай, ZRA измерва галваничния ток в системата при потапяне в електролит, а QCM оценява количествено отлагането на продукти на редукционното разлагане на електролита върху медната повърхност. Прилагането на метода води до определянето на полиетилен-оксида като възможен инхибитор на корозията.

5 Отражение на научните публикации на кандидата в българската и чуждестранната литература.

Светлозар Иванов е съавтор на 60 публикации в периода 2001-2025 г., цитирани над 1250 пъти (без автоцитати), като индексът му на Хирш е 19. Редица от работите му (9) са цитирани над 50 пъти, а три от тях – над 100 пъти: *Electrochimica Acta* 412 (2022) 140072 (179, включена в настоящия конкурс), *Journal of Power Sources* 378 (2018) 235 – 247 (122) и *Journal of Power Sources* 342 (2017) 939 – 946 (101 пъти). В значителна част от цитиранията работите на кандидата са коментирани, като получените в редица от трудовете му количествени характеристики на микро- и нано структурата на редица класове материали са били използвани за интерпретация на експериментални резултати или при разработване на нови подходи за получаване на съпоставими съединения с приложения в редица важни области на науката и практиката. Може да се направи заключение, че публикационната дейност на кандидата има своето значимо място в литературата по неорганично материалознание и в частност материали за литиево-йонни и натриево-йонни източници на ток.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- Проблематиката, в която са постигнати основните научни и научно-приложни резултати на Светлозар Иванов е водеща и перспективна за науката и технологиите. Синтезът и характеризирането на тънки метални и оксидни филми с оптимални свойства за редица важни приложения откриват широки възможности (някои от които уникални) за фундаментални и научно-приложни

изследвания, като в последните няколко десетилетия тази научна област се обособи като бързоразвиващ се дял на неорганичното материалознание.

- Научното развитие на Светлозар Иванов е хармонично. Той последователно минава през научните степени и звания, което му е позволило да се оформи като зрял учен. На настоящия етап от дейността си, той вече е утвърден ръководител на по-млади учени, които тръгват по пътя на научните изследвания.
- Светлозар Иванов е направил задълбочен анализ на редица проблеми в изследваната област и се е насочила систематично към решаването им. В процеса на научноизследователската си работа колективите, в които той има водещо участие, генерират нови задачи и идеи.
- Научните приноси на Светлозар Иванов са съществени и са получили много добра международна оценка. Тези резултати са постигнати чрез значителни по обем комплексни изследвания, проведени на много високо ниво върху сложни системи и явления. Наукометричните му показатели са много добри, което е критерий за нивото на проведените изследвания и получените резултати. Едновременно с това, Светлозар Иванов има значима преподавателска и научно-популяризаторска дейност, което го прави подходящ за лидер на научно направление.

Предвид гореизложеното, в мен не остава съмнение, че пред нас е успешното дело на един напълно оформен и задълбочен учен. Неговата научна и учебна дейност, международните прояви, приносите, наукометричните показатели (брой публикации в престижни издания и индекс на цитируемост) напълно отговарят на високите изисквания на Правилника за условията и реда за заемане на академични длъжности в Института по Физикохимия към БАН.

Ето защо си позволявам напълно убедено да препоръчам на Почитаемото научно жури да присъди научното звание ПРОФЕСОР по професионално направление 4.2 Химически науки (научна специалност Физикохимия) на Светлозар Димитров Иванов.

Дата: 21.05.2025 г.

Рецензент:

(проф. дхн М. Божинов)