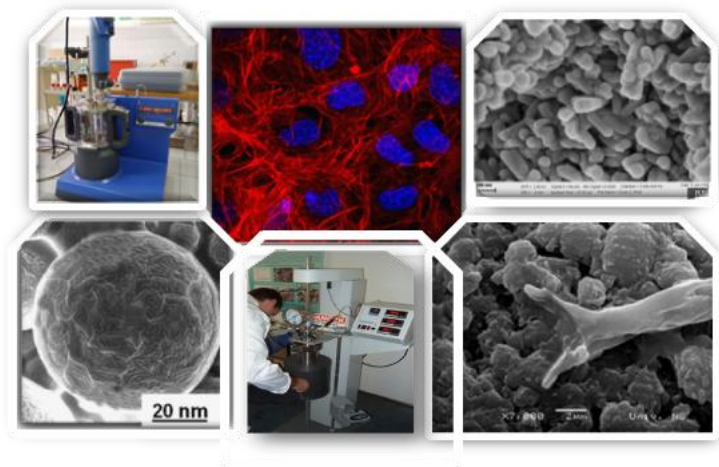




Академија инжењерских наука Србије
Одељење технолошких, металуршких и наука о
материјалима – ОТМНМ

ПРОГРАМ И ЗБОРНИК САЖЕТАКА СКУПА

Нови материјали и нанотехнологије у
инжењерским наукама



Београд 12. мај 2023. године

Академија инжењерских наука Србије
Одељење технолошких, металуршких и наука о материјалима –
ОТМНМ

Научни и организациони Одбор скупа

Председник Одбора:

Ненад Игњатовић,
редовни члан АИНС

Чланови Одбора:

Драган Ускоковић,
редовни члан АИНС

Биљана Стојановић,
редовни члан АИНС

Надежда Талијан,
редовни члан АИНС

Владимир Срдић,
дописни члан АИНС

Бојана Обрадовић,
дописни члан АИНС

Уредили

Проф. др Биљана Стојановић, Секретар одељења технолошких,
металуршких и наука о материјалима Академије инжењерских наука
Србије

Проф. др Ненад Игњатовић, Члан Међуодељенског Одбора за
публикације Академије инжењерских наука Србије

ПРОГРАМ И ЗБОРНИК САЖЕТАКА

ПРОГРАМ

09³⁰-09⁴⁰ Отварање скупа Нови материјали и нанотехнологије у инжењерским наукама

Излагања:

Председавајући: Драган П. Ускоковић, Биљана Д. Стојановић, Бојана Обрадовић

- 09⁴⁰ – 10⁰⁰ Драган П. Ускоковић,
Нанотехнологије у Србији: Илузија или реалност
- 10⁰⁰ – 10²⁰ Биљана Д. Стојановић,
Композити на бази наноматеријала као нов
изазов за флексибилну електронику
- 10²⁰ – 10⁴⁰ Ненад Л. Игњатовић,
Биоматеријали на бази нано калцијум фосфата за реконструктивну,
превентивну и регенеративну медицину: Мале честице - велики
изазови
- 10⁴⁰ – 11⁰⁰ Бојана Обрадовић,
Развој биоактивне, биомимичне средине
за гајење малигнућ ћелија
- 11⁰⁰ – 11¹⁵ Пауза
- 11¹⁵ – 11³⁵ Весна Мишковић-Станковић,
Хидрогелови са електрохемијски синтетисаним наночестицама
сребра за примене у медицини
- 11³⁵ – 11⁵⁵ Владимир В. Срдић,
Хетерогени танки филмови као основа развоја
савремених информационах технологија
- 11⁵⁵ – 12¹⁵ Надежда Талијан,
Дизајнирање савремених нанокомпозитних Ag-
MeO (Me=Sn,Zn,..) електроконтактних материјала,
изазови и иновативна решења
- 12¹⁵ – 12⁴⁵ Дискусија

ЗБОРНИК САЖЕТАКА

Нанотехнологије у Србији: Илузија или реалност

Драган П. Ускоковић^{1,2}

¹Институт техничких наука Српске академије наука и уметности, Кнез Михајлова 35/4, Београд, Србија

²Академија инжењерских наука Србије, Београд, Србија

Нанотехнологија представља примену научних и инжењерских принципа у креирању особина у структурама мањим од 100 nm (нанометар је милијардити део метра или хиљадати део пречника власи косе), када настају потпуно нова својства а самим тим и могућност нових примена. Крајем прошлог stoleћа дошло је до значајног напредка нанотехнологија, да би најпре у САД-у 2001. године а потом и у других седамдесетак земаља биле покренуте националне нанотехнолошке иницијативе које су довеле до огромног напредка у науци, технологији и индустрији. У оквиру излагања биће размотрена хронологија рада у области нано наука и нанотехнологија у свету, и код нас и истакнуте институције и програми на којима се данас ради. Биће представљена упоредна анализа стања Универзитета у Београду са водећим Универзитетима бивше Југославије и из окружења, са становишта броја и квалитета публикација. У 2021. години 23750 патената из области нанотехнологије је регистровано само у Америчком патентном заводу, од чега 14044 пријављених и 9705 заштићених. Очекује се да ће 2024. године укупна вредност пословања у области нанотехнологија достићи 125 милијарди долара, почев од start-up-ова па до великих компанија попут *General Electric*, *Intel*, *Samsung*, *BASF* и других. Биће представљена платформа нанотехнолошких производа која посматра и прати тржиште произведених и комерцијализованих нано-производа од стране светских компанија. Скоро 10600 производа је регистровано до краја 2022. године, од тога највише из електронике, медицине, козметичких производа, грађевинарства и хемијске индустрије.

Извршена је анализа пројеката из области нанотехнологија, који су финансирани од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја Србије у периоду 2011.-2019. година, са становишта броја и квалитета публикација и указано је на добре и лоше стране концепта за који се очекивало да ће израсти у нашу “националну нанотехнолошку иницијативу”, којом би се створила основа овој области. На крају биће изнета нека размишљања и дилеме о правцима даљег развоја нанотехнологија код нас.

Композити на бази наноматеријала као нов изазов за флексибилну електронику

Биљана Д. Стојановић^{1,2}

¹Институт за мултидисциплинарна истраживања Универзитета у Београду, Србија

²Академија инжењерских наука Србије, Београд, Србија

Захтеви за што брзом, јефтинијом и енергетски ефикаснијом електроником су данашњи актуелни императив. Смањење димензија омогућава различите могућности примене и велики прогрес у микроелектроници. Међутим, ограничавајући фактор су чврсти и крути носачи за активне компоненте. Флексибилна електроника која се може савијати, увијати, растегнути у различите облике омогућава значајно проширење примене на подручју рачунара, дисплеја, сензора, уређаја за прикупљање и складиштење енергије, у биомедицинском инжењерству.

Како нема потпуно растељиве електронике, најпогоднији је приступ да се користи композит на бази еластополимера и функционалне компоненте. Комбинација неорганско-органског материјала на бази нанокерамичких прахова, као што су ферионици и мултиферионици и проводни полимери може да обезбеди не само савитљивост већ и да побољша нека својства битна за напредну електронику. Данас постоје два могућа приступа у имплементацији и дизајну флексибилних композита. Први је заснован на комбинацији неорганског наноматеријала и полимера на који се се техником штампања, гасном депозицијом или из раствора наноси наноматеријал. Други приступ је комплекснији и сада више у фокусу истраживања и заснован је интеграцији органског и неорганског дела у јединствен композит. Органски део композите је проводни, пиезоелектрични полимер, а наноматеријал у облику праха, нано-цеви или нано-влакана је диелектрик, фериок или мултифериок, који се добија специфичним проценим поступцима.

Приказаће се најбитнији елементи процесирања за оба примера израде флексибилне електронике. Указаће се на неке од могућност примене (транспарентни монитори и мобилни телефони, складиштење енергије, епидермална електроника, биомедицински уређаји, ГПС помоћ у вожњи, итд).

Биоматеријали на бази нано калцијум фосфата за реконструктивну, превентивну и регенеративну медицину: Мале честице - велики изазови**Ненад Л. Игњатовић^{1,2}**¹Институт техничких наука Српске академије наука и уметности, Кнез Михајлова 35/4, Београд, Србија²Академија инжењерских наука Србије, Београд, Србија

Наночестице калцијум фосфата (nCP), посебно хидроксиапатита (nHAp), представљају широко поље истраживања са високим потенцијалом за примену у реконструктивној, превентивној и регенеративној медицини. Структура, састав и морфологија у лабораторији синтетисаних nCP и nHAp веома је слична природним, који су главни састојак коштаног ткива човека.

Дизајнирани су објекти на бази nHAp (честице мање од 100 nm) као носачи антибиотика и витамина а погодни за коришћење у реконструктивном инжењерству коштаног ткива. Мултифункционални носачи сачињени од nHAp обложеног са биоресорбилним полимером (поли-лактид-ко-гликолид) у коме је инкапсулиран антибиотик/витамин успешно су примењени у реконструкцијама остеопорозом оштећених костију [1, 2]. Креирани су носачи више врста стероидних деривата на бази nHAp и хитозана (Ch) погодни за примену у нано-онкологији. Истовремено је анализирана њихова цитотоксичност према здравим али и према ћелијама канцера плућа и дојке. Системи су били високо токсични према ћелијама канцера плућа и дојке уз истовремено минималну токсичност према здравим [3, 4]. Испитане су могућности дизајнирања објеката на бази nHAp погодних за коришћење у различитим дијагностичким процедурама (у превентивној медицини), посебно у мултимодалном снимању (MI). Дизајниране честице nHAp допирале су са јонима ретких земаља (Gd^{3+} , Yb^{3+} , Tm^{3+} , Eu^{3+}) погодне као мултимодал контраст агенс. Поред магнетних својстава честице су након екситације оствариле и фото луминесценцију (емисију плаве или црвене светлости) механизмима *up-conversion* и *down-conversion* [5]. Дизајнирани високо порозни носачи стем ћелија (*adipose-derived mesenchymal stem cells*) на бази једнодимензионалних nHAp жица, успешно су примењени у регенеративној медицини. Три-димензионални (*3D scaffold*) носачи омогућили су оптималну диференцијација ћелија уз истовремену реконструкцију коштаног дефекта животиња.

[1] J. Živković, N. Ignjatović, S. Najman, In: Engineering Materials, Springer, ISBN 978-3-031-17268-7 (2023) 115-135

[2] N. Ignjatović, et. al., *Bio-Medical Materials and Engineering* 24 (2014) 1647–1658

[3] N. Ignjatović, et. al., *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 148 (2016) 629–639

[4] N. Ignjatović, et. al., *Journal of Materials Chemistry B*, 6 (2018) 6957-6968

[5] N. Ignjatović, et. al., *Scientific Reports*, 9 (2019) 16305

Развој биоактивне, биомимичне средине за гајење малигнух ћелија**Бојана Обрадовић^{1,2}**¹Универзитет у Београду, Технолошко-металуршки факултет, Карнегијева 4, 11000 Београд²Академија инжењерских наука Србије, Београд, Србија

Инжењерство тумора има за циљ да креира тродимензионално (3Д), биомимично окружење за гајење ћелија тумора које ће подражавати природну физиолошку средину ради испољавања свих карактеристика тумора које су одсутне у традиционално коришћеним дводимензионалним културама ћелија у монослоју. Наиме, ћелије у монослоју губе своје нормалне метаболичке функције услед промењене морфологије и недостатка ванћелијског матрикса и међућелијских интеракција. Стога је препозната потреба за физиолошки релевантнијим *in vitro* моделима тумора ради испитивања биологије и метаболизма малигнух ћелија, као и ради поузданијег и ефикаснијег испитивања дејства антитуморских лекова. Један од приступа се заснива на примени биоматеријала који имитирају природни ванћелијски матрикс тумора и биореактора који обезбеђују ефикасан пренос масе и адекватне биофизичке сигнале. У овом раду је приказан развој два система за гајење малигнух ћелија на бази алгинатних хидрогелова и проточног биореактора. За имитацију ванћелијског матрикса меких ткива коришћен је алгинатни хидрогел у облику микровлакана у којима су имобилисане ћелијске линије хуманог глиобластома [1], глиома пацова [2] и карцинома плућа. За имитацију ванћелијског матрикса коштаног ткива развијени су макропорозни алгинатни хидрогелови са садржаним честицама хидроксиапатита и у ове носаче су засејане мишје ћелије остеосаркома. Обе врсте носача са ћелијама су гајене у проточном биореактору (*3D Perfuse*, Иновациони центар Технолошко-металуршког факултета, Београд) при физиолошки релевантним брзинама медијума за гајење односно у опсегу 15 $\mu\text{m/s}$ – 100 $\mu\text{m/s}$. Резултати су показали да развијени 3Д биомимични системи подржавају вијабилност и одређена својства малигнух ћелија карактеристична за *in vivo* средину, али да се услови имобилизације ћелија, гајења и оперативног режима рада биореактора морају оптимизовати за сваку врсту ћелија појединачно.

[1] M. Dragoj, et al., *Brain Sciences*, 11 (2021) 1025

[2] M. Radonjić, et al., *Chemical Industry & Chemical Engineering Quarterly*, 28 (2022) 211-223

Хидрогелови са електрохемијски синтетисаним наночестицама сребра за примене у медицини

Весна Мишковић-Станковић^{1,2}

¹Универзитет Унион-Никола Тесла, Факултет за екологију и заштиту животне средине,
Цара Душана 62-64, 11000 Београд

²Академија инжењерских наука Србије, Београд, Србија

Полимерни хидрогелови као биоматеријали за примене у медицини треба да буду биокомпатибилни, да имају добре сорпционе и механичке особине и потенцијал за имобилизацију и инкорпорацију антибактеријских агенаса као што су наночестице сребра, а да при томе не изазивају инфламацију или токсични одговор у организму. Електрохемијским поступцима се прецизно могу контролисати састав, количина и морфологија биоматеријала, а тиме и њихове карактеристике. Електрохемијска *in situ* синтеза наночестица сребра у полимерној композитној матрици на бази поливинил-алкохола је омогућила контролисану инкорпорацију наночестица сребра и велику чистоћу производа за медицинске примене. Параметри електрохемијске синтезе (напон, отпорност, време) су варирани да се одреде оптимални услови. За карактеризацију добијених хидрогелова коришћене су UV, FT-IR и Раманова спектроскопија, метода динамичког расипање светлости, FESEM, TEM, циклична волтаметрија, атомска апсорпциона спектроскопија за кинетику отпуштања сребра, МТТ тест цитотоксичности према ћелијама хуманих MRC-5 и мишијих L929 фибробласта, и тест у суспензији за одређивање антибактеријских својстава према сојевима бактерија *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*. Показано је да су наночестице сребра успешно инкорпорирани у полимерну матрицу на бази поливинил-алкохола и да су добијени композитни хидрогелови нетоксични према ћелијама фибробласта MRC-5 и L929, као и да поседује антибактеријску активност према сојевима бактерија *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*. Кинетика отпуштања сребра у симулираним физиолошким условима (фосфатни пуфер, 37 °C) је показала иницијално снажно отпуштање сребра, веома значајно за спречавање настанка биофилма, и предложено је неколико кинетичких модела који указују на могући механизам отпуштања сребра. Синтетисани хидрогелови са наночестицама сребра су добри кандидати за потенцијалне примене као облоге за ране и имплантати меких ткива [1-4].

[1] K. Nešović, et. al., *J. Ind. Eng. Chem.* 77 (2019) 83-96

[2] K. Nešović, et. al., *European Polymer Journal*, 121 (2019) 109257

[3] K. Nešović, et. al., *Polym Eng Sci.* 60 (2020) 1393–1419

[4] K. Nešović, V. Mišković-Stanković, *J. Vinyl Addit. Technol.* 28 (2022) 196-210

Хетерогени танки филмови као основа развоја савремених информационих технологија

Владимир В. Срдић¹, Јелена Вукмировић², Бранимир Бајац¹, Сара Јоксовић¹,
Андре Нестеровић¹, Даница Пипер¹, Елвира Ђурђић³, Жељка Цвејић³, Иван
Стијеповић¹, Марија Милановић¹

¹Департман за инжењерство материјал, Технолошки факултет,
Универзитет у Новом Саду, Нови Сад, Србија

²Институт Биосенс, Универзитет у Новом Саду, Нови Сад, Србија

³Департман за физику, Природно-математички факултет,
Универзитет у Новом Саду, Нови Сад, Србија

Једно од области која се у последње време најбрже развија свакако су информационе технологије, у којима проблем коришћења и чувања велике количине дигиталних података има посебно место. Данас су дигиталне информације кодирани у магнетизацији феромагнетних или поларизацији фероелектричних домена који постоје у меморијским уређајима. Контролисана манипулација таквим доменима од велике важности и данас се обично постиже ротирањем магнетизације или поларизације домена помоћу магнетног или електричног поља. Међутим, ови класични начини манипулације доменима имају озбиљна ограничења и тешко могу да задовоље изузетно велику потребу за складиштењем огромне количине података и сигурно ће створити проблеме у блиској будућности због ограничене брзине таквих система и пратеће велике потрошње енергије. Због тога је неопходно развити алтернативни приступ, који ће се највероватније заснивати на новим врстама мултифункционалних наноструктурних материјала. Танкослојне хетероструктуре на бази оксидних перовскитних-материјала једно су од могућих решења. Једна група таквих нових мултифункционалних материјала су мултифероици, које карактерише коегзистенција најмање два фероична уређења. Тако се магнето-електрични ефекат мултифероика може једноставно описати као промена поларизације у материјалу применом магнетног поља или промена магнетизације применом електричног поља. Тако би се у мултифероичним материјалима меморијски бит могао чувати у феромагнетном стању, а магнетоелектрична интеракција могла би омогућити контролисану манипулацију магнетним доменима применом електричног поља. Још једна врста мултифункционалних материјала са магнето-оптичком интеракцијом недавно је привукла значајну пажњу. У тим системима промена магнетизације се постиже помоћу ултра-брзих ласерских импулса и могла би да отвори нове перспективе у будућем развоју меморијских уређаја. Овај приступ би се могао проширити и на мултифункционалне хетероструктуре које поседују оптички магнето-електрични ефекат, што значајно може проширити потенцијалне домене примене.

Дизајнирање савремених нанокompatитних Ag-MeO (Me=Sn,Zn,..) електроконтактних материјала, изазови и иновативна решења

Надежда Талијан¹, Владан Ћосовић²

¹ Академија инжењерских наука Србије, Одељење технолошких, металуршких и наука о материјалима

² Универзитет у Београду – Институт за хемију, технологију и металургију, Београд, Србија

Електроконтактни материјали на бази композита сребра и металних оксида (Ag-MeO) представљају веома важну групу функционалних материјала који налазе широку примену у различитим типовима електроуређаја [1]. Због својих изванредних функционалних карактеристика Ag-CdO је деценијама био доминантни електроконтактни материјал за примену при ниским и средњим струјним и напонским оптерећењима. Међутим, токсичност кадмијума и оштрија регулатива о заштити животне средине, почев од Директиве ЕУ о ограничењу употребе опасних супстанци (RoHS) из 2002., условљавају да се примена Cd у електроиндустрији у наредном периоду сведе на минимум. Иако су као резултат актуелних истраживања, композити на бази Ag-SnO₂ и Ag-ZnO препознати као најприближнија замена, изузев еколошке прихватљивости, њихове функционалне карактеристике, посебно отпорност на ерозију и заваривање контактнoг пара, нису на нивоу Ag-CdO [2]. Поред могуће оптимизације удела, типа и броја оксида у композиту, опште је прихваћено да примена финијих или наночестичних MeO промовише кључне функционалне карактеристике контактнoг материјала. Експериментално је потврђено да степен дисперзије MeO у сребрној матрици преко хомогености микроструктуре директно утиче и на унапређење структурно зависних својстава [3]. Отуда су презентована истраживања била усмерена на развој иновативне методе за синтезу нанокompatитних прахова Ag-MeO са циљем повећања дисперзије оксида у финалном контактном материјалу и превазилажења утицаја величине честица полазних прахова. На бази неколико савремених процесних могућности, које укључују хемијску преципитацију или тзв. биокастинг методе [4], развијена је иновативна метода за синтезу нанокompatитних Ag-MeO прахова која подразумева употребу наночестичних прахова оксида и жртвеног полимерног калупа [5].

[1] M. Braunović, et. al., CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, 2007.

[2] N. Talijan, *Livarski vestnik*, 60 (2013) 16-30

[3] V. Ćosović, et. al., *J. Alloys Compd.*, 567 (2013) 33-39

[4] G. Li, et. al., *J. Alloys Compd.*, 696 (2017) 1228-1234

[5] N. Talijan, et. al., Proceedings of the World Foundry Organization Technical Forum and 59th International Foundry Conference, Slovenia, Portorož, 2019, p. 64-65

