

СЕНАТУ УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ

Проф. др Владимир Бумбаширевић, председник Сената Универзитета

Поштовани,

Одлуком Сената Универзитета у Београду од 15. маја 2013. године именовани смо у стручну комисију за припрему реферата са предлогом одлуке за доделу звања *професор емеритус* др Витомиру Милановићу, редовном професору у пензији Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

У складу са Правилником о условима и поступку додељивања звања *професор емеритус* достављамо образложени предлог.

У прилогу, осим образложеног предлога достављамо и библиографију кандидата.

У Београду, 25. маја 2013

др Дејан Гвоздић, редовни професор
Електротехничког факултета Универзитета у Београду

др Јован Радуновић, редовни професор
Електротехничког факултета Универзитета у Београду

др Бранко Ковачевић, редовни професор
Електротехничког факултета Универзитета у Београду

Образложење предлога за додељивање звања *професор емеритус* проф. Витомиру Милановићу

У складу са Правилником о условима и поступку додељивања звања *професор емеритус*, Члан 2., у образложењу којим кандидат испуњава услове, истичемо следеће:

Главна област досадашњих истраживања В. Милановића је физичка електроника квантних полупроводничких наноструктура, као што су: квантне јаме, суперрешетке, квантно каскадни ласери, фотодетектори итд. Тим истраживањима обухваћено је одређивање електронске структуре и анализа оптичких и транспортних особина ових наноструктура. Врло значајно место у овим истраживањим заузима и оптимизација линеарних и нелинеарних оптичких параметара. Као посебан квалитет ових истраживања и резултата, указујемо на чињеницу да су она увек рађена у оквиру одређених истраживачких група, током вишегодишњих пројеката, са циљем да се остваре што квалитетнији резултати и да се боље и шире преноси и размењује већ стечено знање.

Посебна професионална достигнућа

- Редовни професор Електротехничког факултета у Београду
- Научни саветник, изабран у Институту за нуклеарне науке Винча
- Октобарска награда града Београда 1991. године
- Члан Научног друштва Србије од 2008. године
- Шеф катедре за Микроелектронику и техничку физику на Електротехничком факултету у Београду у периоду 2004.—2009.
- Члан жирија за доделу награде "Професор Марко В. Јарић"
- Експерт Савезног министарства за науку и развој у областима: Електротехника и Физика од 1994. године.
- Рецензент радова у више међународних часописа (Physical Review, Journal of Applied Physics, Applied Physics Letters, physica status solidi, Physica B итд.).

Кратка биографија

Витомир Милановић је рођен 1947. године у Јагодини. Осмогодишњу школу и гимназију завршио је у Београду. Дипломирао је 1971. године на Одсеку за Техничку физику Електротехничког факултета у Београду. Магистарски рад из области физичке електронике р-п спојева одбранио је 1977. године, док је докторску дисертацију из области електронских особина полупроводничких наноструктура одбранио 1983. године на Електротехничком факултету у Београду. На Електротехничком факултету у Београду у звање асистента, доцента, ванредног професора и редовног професора биран је 1982., 1988., 1993. и 1998. године. У звање истраживача, научног сарадника и вишег научног сарадника биран је 1978., 1984. и 1990. године у Институту за физику, а 2012. године изабран је за научног саветника у Институту за нуклеарне науке Винча.

1. Посебна достигнућа у научном, стручном и педагошком раду

Научни и стручни рад

Научни рад проф. В. Милановић је започео одмах после дипломирања и одслужења војног рока у Институту за физику 1973 године. Од 1979. до 1993. био је запослен у Вишој ПТТ школи (сада Висока школа за информациона и комуникационе технологије), с тим да се научним радом бавио на Електротехничком факултету у Београду, где је био ангажован до трећине радног времена у звању доцента. Од 1993. запослен је на Електротехничком факултету у Београду, прво у звању ванредног, а затим и редовног професора.

В. Милановић је до сада објавио **345** радова штампаних у целини и **55** радова штампаних у форми апстракта, од тога **168** радова у међународним часописима који имају импакт фактор. Поред тога је и аутор једне монографије о особинама електрона у наноструктурама, као и поглавља у међународној научној монографији (Поглавље 4 у „Leading Edge Semiconductor Research“, Nova Science Publishers 2006.). Велики број радова В. Милановића публикован је у најреномиранијим часописима: 24 рада публиковао у часопису Physical Review B, 19 радова у Journal of Applied Physics, 10 радова у IEEE Journal of Quantum Electronics, 11 радова у Physics Letters A; по 3 рада у Applied Physics Letters, Journal of Physics D, Journal of Physics : Condensed Matter, 2 рада у Physical Review A. Радови В. Милановића цитирани су, до сада, **792** пута (према ISI Web of Science), не рачунајући аутоцитате, са фактором цитираности $h = 19$. Добар пример цитираности је рад: В. Милановић, З. Иконић "Generation of isospectral combinations of the potential and the effective-mass variations by supersymmetric quantum mechanics", Journal of Physics A, Mathematical and General, Vol. 32, pp.7001-7015 (1999) који је цитиран 75 пута (без аутоцитата).

Научноистраживачка активност В. Милановића одвија се у области физичке електронике и физике чврстог стања. Конкретније, највећи део досадашњих истраживања усмерен је на проучавање квантних ефеката у полупроводничким наноструктурама. Први радови из ове области публиковани су почетком осамдесетих година прошлог века и то представља почетак проучавања наноструктура код нас. Ти радови су били посвећени електронској структури суперрешетке и методама њеног одређивања. Каснији радови прате светски тренд померања према проучавању квантних јама. Десетак радова В. Милановића посвећено је апсорпцији светлости у квантним јамама, као и утицају просторне зависности ефективне масе на ову појаву. Врло значајни су радови из области оптимизације нелинеарних оптичких параметара у квантним наноструктурама. У овим радовима је комбинована суперсиметрична квантна механика са оригинално развијеном методом трансформације координата у циљу добијања оптималних вредности одговарајућих нелинеарних параметара. У последњих неколико година научна активност В. Милановића посвећена је врло актуелној проблематици квантно каскадних ласера, дизајну спинског филтра на бази немагнетних материјала и анализи времена тунеловања у полупроводничким наноструктурама и фотонским кристалима.

Овде ће бити детаљно анализирани, по областима, само радови у последњих петнаест година, проф. В. Милановића, што потврђује његову непрестану научну активност током читаве каријере.

1. Оптимизација оптичких особина полупроводничких наноструктура

У ову групу спадају радови у којима се оптимизују унутарзонске оптичке особине степенасто и континуално градираних полупроводничких квантних јама базираних на

тернарним легурама. Предложени су систематски поступци за оптимизацију профила посматраних структура у циљу добијања максималног ефекта (унутарзонске апсорпције, ректификације, генерације другог и трећег хармоника). Посебно треба истаћи оригиналну методу засновану на комбинацији суперсиметричне квантне механике и трансформације координата за одређивање оптималног профила квантних структура. Ова метода омогућава да се на основу погодне изабраног почетног потенцијала генерише фамилија потенцијала који су му у потпуности изоспектрални, а чији облик зависи од једног или више слободних параметара. Друга оригинална метода је комбинација теорије инверзног спектра и трансформације координата. Овај прилаз омогућава генерисање потенцијала са унапред задатим енергетским спектром. Такође је веома важно напоменути да су, по први пут у литератури, употребљене методе оптималне контроле (конкретно, теорија варијационог рачуна) у дизајнирању полупроводничких наноструктура. Главни допринос састоји се у формирању оригиналног алгоритма за глобалну оптимизацију полупроводничких квантних јама у односу на унутарзонске оптичке суспензивности другог реда, где се теорија варијационог рачуна комбинује са техником симулираног одгревања. Поред тога, оптимизован је, генетским алгоритмом, конвертор силицијумске соларне ћелије.

2. Наноструктуре на бази нитридних једињења

Следећу групу чине радови у којима је анализиран нови тип полупроводничких квантних структура базираних на нитридним материјалима (GaN/AlGaN). Овај тип полупроводничких легура је интересантан због чињенице да зонски дисконтинуитет између GaN и AlN има велику вредност, чиме је омогућено проширење опсега енергија унутарзонских прелаза на блиску инфрацрвену област, што је важно за примене у оптичким комуникацијама. За изабране материјале карактеристично је постојање јаким унутрашњим електричним поља која потичу од пиезоелектричне и спонтане поларизације, што додатно усложњава прорачун електронске структуре и оптичких особина. Урађена је и оптимизација параметара степенасто градираних нитридних квантних јама у односу на унутарзонску апсорпцију светлости. Методом изоспектралних трансформација Хамилтонијана примењених на континуално градиране структуре дизајниране су квантне јаме предвиђене за резонанту генерацију другог хармоника у блиском инфрацрвеном и оптичку ректификацију у средњем инфрацрвеном опсегу зрачења.

3. Суперрешетке са нарушеном периодичношћу

Посебна пажња посвећена је полупроводничким суперрешеткама са нарушеном периодичношћу. Овај тип структура издваја се по томе што у свом енергетском спектру садржи високо локализована надбаријерна стања, што омогућава унутарзонске оптичке прелазе на вишим енергијама него што је то могуће у обичним квантним јамама. За одређивање оптималних структурних параметара оваквих Браговски конфинираних структура примењен је алгоритам за симулирано одгревање, како би се максимизовала унутарзонска апсорпција на прелазу између основног и првог побуђеног стања проводне зоне. Квалитет добијеног дизајна проверен је детаљним самосагласним поступком спроведеним над реалним структурама код којих се Брагови рефлектори за конфинирање састоје из малог броја периода.

4. Електронска структура квантно каскадног ласера

Предмет истраживања В. Милановића је и унутарзонски униполарни полупроводнички ласер, познат под називом квантни каскадни ласери. Предложен је

теоријски модел, заснован на систему брзинских једначина. Узета је у обзир комплетна структура која се састоји од активне области, инјектора и колектора и извршена је оптимизација појачања методама суперсиметричне квантне механике и симулираног одгревања. Добијени резултати су у доброј сагласности са експерименталним подацима доступним у литератури.

5. Квантно каскадни ласер у јаком магнетном пољу

У ову групу спадају радови у којима се оптимизују структурни параметри квантног каскадног ласера и анализира њихов рад под дејством јаког спољашњег магнетног поља. Посебна пажња посвећена је укључивању адекватних механизма расејања у модел за прорачун електронске структуре, као и ефеката непараболичности проводне зоне. Предложен је теоријски модел, заснован на систему брзинских једначина, за израчунавање појачања у активној области квантног каскадног ласера изложеног дејству спољашњег магнетног поља. Примена модела на GaAs/AlGaAs структуру дизајнирану за емитовање зрачења у средњој инфрацрвеној области показала је да се излазне карактеристике овог типа ласера могу значајно модулисати помоћу магнетног поља, а добијени резултати су у доброј сагласности са експерименталним подацима доступним у литератури. Поред тога анализирана је врло интересантна врста Si/SiGe квантно каскадних ласера као и особине оптички пумпаних ласера. Главни акценат у овим радовима је оптимизација појачања систематским методама као што су суперсиметрична квантна механика и теорија инверзног спектра. Показано је да се параметри квантно каскадног ласера као метаматеријала могу подешавати у широком опсегу променом спољашњег магнетног поља. Детаљно су изведени гранични услови за таласне функције у квантним јамама узимајући у обзир утицај непараболичности по Екенбеговом моделу.

6. Времена тунеловања у фотонским струкурама

Ова група радова односи се на анализу времена тунеловања електромагнетних таласа (време задржавања, групно време, време самоинтерференције) кроз различите дисперзивне и апсорпционе фотонске хетероструктуре. Посебно је анализирано простирање таласа кроз препреке са сатурационом, односно нелинеарношћу Керовог типа, где су први пут изведени експлицитни изрази за одговарајуће временске параметре и испитан утицај параметара баријере и упадног зрачења на њихово понашање. Извршена је анализа и формиран оригинални поступак за дигитализацију фотонских структура са везаним стањем електричног поља у континуалном делу спектра.

7. Спинске особине квантних наноструктура

У овој групи налазе се радови у којима се проучавају спинске особине полупроводничких квантних наноструктура на бази немагнетних и полумагнетних материјала. Развијен је поступак за систематску оптимизацију заснован на примени савремене класе еволутивних алгоритама за глобалну оптимизацију, конкретно генетског алгорита, који је примењен на одређивање структурних параметара наноструктура на бази полумагнетних полупроводника, изложених дејству спољашњег магнетног и електричног поља, са циљем да се максимизује степен спинске поларизације електрона у тунелујућој струји. Показује се да се ефективни коефицијент спинске поларизације у наведеном полупроводничком систему значајно мења при преласку са директне на инверзну електричну поларизацију, што омогућава реализацију спин-филтер диода. Испитиван је и утицај Дреселхаусовог и Рашба спин-орбитног ефекта на процес тунеловања електрона кроз структуру са двоструком баријером на бази немагнетних полупроводника, са и без присуства спољашњег електричног поља. Резултати указују на

то да се асиметризацијом геометријског профила структуре и/или променом јачине поља може остварити значајна разлика у временима задржавања електрона различитог спина. Ово отвара могућности за ефикасно филтрирање спина у временском домену.

8. Шредингерова једначина са комплексним потенцијалима

Овој групи припадају радови посвећени Шредингеровој једначини са комплексним потенцијалима. Дата је систематска процедура која омогућава генерисање реалног енергетског спектра, за одређене облике комплексног потенцијала. Поред тога формирана је метода за креирање дискретног стања у континуалном делу спектра, како код квантних, тако и фотонских структура.

Проф. В. Милановић је био ментор при изради 10 докторских дисертација (Драган Инђин, Јелена Радовановић, Александра Мирчећ, Горан Тодоровић, Станко Томић, Саша Кочинац, Јелена Сташић, Горан Глигорић, Милена Давидовић, Петра Беличев), које су све одбрањене на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, као и ментор при изради 8 магистарских теза (Јелена Радовановић, Марко Ерић, Горан Тодоровић, Станко Томић, Јелена Сташић, Милан Тадић, Благоје Митровић, Милован Јанићијевић) одбрањених на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, и једне одбрањене магистарске тезе (Драган Тимотијевић) на Физичком факултету Универзитета у Београду. Тренутно је ментор 2 две докторске дисертације (Сабина Рамовић, Милован Јанићијевић) које се налазе у завршној фази, као и једне докторске дисертације (Даница Мамула—Тартаља) која се налази у фази пријаве теме. Поред тога В. Милановић је руководио израдом великог броја дипломских радова и неколико мастер радова. Дипломски рад, чији је руководилац био В. Милановић, добио је награду BAFA USA, као најбољи дипломски рад одбрањен на Електротехничком факултету у Београду у школској 2008/2009 години. Напоменимо да је на основу ових дипломских радова, скоро увек био објављен по један рад у часописима међународне репутације, док су докторске дисертације и магистарске тезе послужиле као основ за публикавање више радова у реномираним часописима.

Проф. Милановић је оформио и последњих 20 година успешно водио и води истраживачку групу за Полупроводничке квантне наноструктуре, у оквиру које су постигнути врло значајни резултати. Посебно је важно напоменути да многи његови некадашњи студенти и сарадници, данас заузимају највиша академска и научна звања на универзитетима и институтима у земљи и иностранству, и сами су успешни у педагошком и научно-истраживачком раду захваљујући знању, искуству и ентузијазму који им је проф. В. Милановић пренео.

Један рад, чији је коаутор В. Милановић проглашен је за најбољи у секцији за саставне делове на 30. Конференцији ЕТАНА-а, 1986 године. Децембра 1990. године добио је награду Електротехничког факултета из фонда проф. Бранка Раковића, док је 1991 године добио Октобарску награду града Београда. Поред тога један рад је 1992 награђен на I Српској конференцији о микро – и оптоелектроници.

В. Милановић је члан Научног друштва Србије од 2008. године.

Педагошки рад

На редовним студијама дао је следеће предмете: Физичка електроника чврстог тела, Квантна механика, Полупроводничке квантне наноструктуре, Физичка електроника, Полупроводничке микроструктуре, Елементи електронских уређаја и Практикум из

конструисања електронских уређаја, на последипломским: Електронска теорија чврстог тела, Квантне полупроводничке микроструктуре и Микроелектронске направе на бази квантних микроструктура. На мастер студијама држао је и држи предмет Дизајн наноелектронских квантних структура, док је на докторским студијама држао и држи предмете: Оптичке особине полупроводничких хетероструктура и Оптимизација и инжењеринг наноструктурних параметара. Проф. В. Милановић, заједно са проф. З. Иконићем, увео је предмет Полупроводничке микроструктуре на Електротехнички факултет. Тај предмет, измењеним називом: Полупроводничке квантне наноструктуре, присутан је на Електротехничком факултету и сваке године биран од стране студената.

Од 2004. до 2009. године В. Милановић је био шеф Катедре за микроелектронику и техничку физику Електротехничког факултета у Београду; то је био период оформљављања Нових наставних планова и програма за све нивое студирања. Био је члан стручног Већа за физику Универзитета у Београду у више мандата као и члан Већа природно математичких наука Универзитета у Београду. Поред тога био је председник Комисије за научни рад Електротехничког факултета, а у два мандата и члан Савета Електротехничког факултета у Београду. У току рада на Вишој ПТТ школи В. Милановић је био шеф Катедре за телекомуникације, као члан Савета школе у више мандата.

В. Милановић је коаутор два универзитетска уџбеника: З. Иконић, В. Милановић "Полупроводничке квантне микроструктуре" (Универзитет у Београду, 1997) и Ј. Радовановић, В. Милановић: "Физичка електроника чврстог тела" (Електротехнички факултет, Београд, 2010), књиге проблема из Физичке електронике чврстог тела, скрипти из Квантне Механике за Електротехнички факултет у Београду, затим у издању Више Бише ПТТ школе скрипти из наизменичних струја, као и збирки задатака из Основа електротехнике и Физике.

2. Међународна репутација

Са стране CPJ проф. В. Милановић је био руководилац пројекта the Joint Project Grant (The Royal Society, collaboration of University Leeds with University Belgrade): "Computational methods for the design optimization of quantum optoelectronic devices 2002.—2004., учесник пројекта The Joint Project Grant (Engineering and Physical Sciences Research Council): "Developing new optimization techniques for design and realization of mid- and far-infrared quantum cascade lasers " (2003.-2004.) и учесник пројекта " High operating temperature lasers for chemical and security sensing " (NATO Science for Peace and Security-Collaborative Linkage Grant). Сва три пројекта реализована су у сарадњи са Универзитетом у Лидсу, Велика Британија, а у трећи пројекат био је укључен и Универзитет у Барију, Италија. Тренутно је учесник пројекта: "Terahertz QCL based spectrometer for rapid detection of chemical agents and explosives"(NATO project. EAP. SFPP. 984068), у сарадњи са универзитетима у Лидсу, Москви и Делфту и Руском академијом наука, као и пројекта "Европска мрежа за детекцију рака коже уз помоћ ласерског имидинга", нова EU COST Акција: BM1205, 2013.-2017, и COST Акције MP1204 (TERA-MIR Radiation: Materials, Generation, Detection and Applications), 2012.-2016.

У оквиру интензивне сарадње са Institute of Microwaves and Photonics, School of Electronic and Electrical Engineering, University of Leeds, високошколске установе оцењене највишом оценом у Великој Британији за научни рад, В. Милановић је више пута боравио, као професор, у овој институцији и то: априла 2002, новембра 2002, јуна и јула 2003, јуна и јула 2004, јуна 2005, новембра 2006, јуна 2008, јуна 2009, јуна 2010 и јуна 2012. Поред тога у мају 2010. боравио на Univesita degli Studi di Bari, Politecnico Di Bari, Dipartimento Interateneo di Fisica.

Проблематика којом се В. Милановић бавио у оквиру ових пројеката обухватала је оптимизацију параметара оптоелектронских направа, анализу квантно каскадног ласера у јаком магнетном пољу као и могућност примене у детекцији токсичних и штетних

супстанци. Једна од тема ових пројеката је спектрометар базиран на терахерцним квантно каскадним ласерима за детекцију хемијских агенса и експлозива – све су то врло актуелне проблематике које се простиру од фундаменталних до апликативних истраживања.

Проф. В. Милановић је учествовао и у међународној Комисији за одбрану једне докторске дисертације (Универзитет у Бризбејну – Аустралија), као и Комисији за избор наставника на Универзитету у Лидсу, Велика Британија.

3. Обезбеђивање наставно—научног подмладка

Велики део својих активности В. Милановић је посветио научно—наставном подмладку, у чему је постигао врло значајне резултате. Држао је успешно (према студентским анкетама) наставу на основним, мастер, постдипломским и докторским студијама. Руководио је израдом 13 докторских дисертација, 11 магистарских теза и више дипломских и мастер радова. О успешности његовог рада најбоље говори чињеница да се велика већина тадашњих доктораната, магистраната и студената данас врло успешно бави научним и педагошким радом, како у земљи тако и у иностранству. И данас проф. В. Милановић је посвећен научно – наставном подмладку о чему говори чињеница да је тренутно ментор три докторске дисертације, као и учесник увођења врло младих студената (трећа и четврта година основних студија) у научни рад, што претпоставља и обавезно објављивање у часописима међународне репутације.

4. Посебне заслуге за развој, напредак Универзитета и Електротехничког факултета

Проф. В. Милановић се последњих тридесет и више година (тачније од 1980.) посветио раду на истраживању квантних полупроводничких наноструктура и био је први у нашој земљи који се бавио овом проблематиком, којом се сада бави више десетина истраживача, тако да се може сматрати да је ову проблематику, данас врло актуелну, увео на Електротехнички факултет и на Универзитет у Београду. Ова проблематика се реализовала и сада се реализује у оквиру пројеката финансираних од стране Министарства просвете и науке Србије (раније од стране Министарства науке Србије и Републичке заједнице науке Србије). Проф. В. Милановић је био руководилац два пројекта код Министарства за науку Србије: први пројекат носи наслов “Оптичке и електронске особине полупроводничких наноструктура“ (2002.-2005.), док је други: “Наноструктуре и нанокомпоненте у физичкој електроници“ (2005.- 2010.). Ови пројекти обухватали су по двадесетак истраживача са четири факултета Универзитета у Београду. Поред тога В. Милановић је један од оснивача Наноцентра на Електротехничком факултету у Београду, као и аутор првог уџбеника (заједно са проф. Зораном Иконићем) из проблематике квантних наноструктура у нашој земљи.

Проф. В. Милановић има интензивну сарадњу са Институтом за нуклеарне науке Винча на проблематици тунеловања у фотонским кристалима, као и са Институтом за физику на проблемима нумеричке симулације квантно каскадних ласера.

5. Допринос угледу и афирмацији Универзитета у Београду и Електротехничког факултета у земљи и иностранству

Проф. В. Милановић дао је значајан допринос угледу и афирмацији Универзитета у Београду и Електротехничког факултета у земљи и иностранству у првом реду публикавањем радова: 168 радова у међународним часописима, десетине радова у домаћим

часописима, учешћем на међународним и домаћим конференцијама, као и дугогодишњом сарадњом са страним факултетом (Електротехнички факултет Универзитета у Лидсу, Велика Британија). Истичемо и цитираност ових радова: цитирани су 792 пута, уз висок фактор цитираности $h=19$.

Проф Милановић је интернационално признат експерт у области којом се бави, рецензент у водећим међународним часописима, рецензент научних пројеката, регуларни гостујући професор и спољашњи рецензент код избора у највиша наставно-научна звања на врхунским академским институцијама у иностранству.

Детаљнији подаци о објављеним научним радовима проф. Витомира Милановића су дати у Библиографији, која је приложена овом образложењу.

На основу свега изнетог част нам је и задовољство да предложимо Сенату Универзитета у Београду да Витомира Милановића, редовног професора у пензији Електротехничког факултета Универзитета у Београду, изабере у звање *професор емеритус*.

У Београду, 25. маја 2013

др Дејан Гвоздић, редовни професор
Електротехничког факултета Универзитета у Београду

др Јован Радуновић, редовни професор
Електротехничког факултета Универзитета у Београду

др Бранко Ковачевић, редовни професор
Електротехничког факултета Универзитета у Београду