



## **75 ГОДИНА ОД ПАТЕНТИРАЊА БИПОЛАРНОГ ТРАНЗИСТОРА: НА ХОРИЗОНТУ ДОГАЂАЈА И ИЗА ЊЕГА**

Универзитет у Београду – Електротехнички факултет  
Свечана сала, 3. новембар 2023. године

### **Програм научно-стручног скупа**

10:00 – 10:15

**др Дејан Гвоздић**  
**Уводна реч**

10:15 – 10:45

**др Предраг Пејовић**

### **Доба полупроводника: када, зашто и како је почело?**

По аналогији са поделом ране историје човечанства на камено, бронзано и гвоздено доба, садашња епоха би се према материјалу који доминантно утиче на друштво могло окарактерисати као доба полупроводника. Предавање се бави испреплетаним развојем идеја у физици и електроници и применом тих идеја највише у преносу и обради података. Почетак електронике се везује за електронске цеви, које су пола века њом и доминирале. Биће указано на недостатке електронских цеви који су мотивисали истраживање полупроводника као могуће алтернативе, која ће касније отворити могућности које се на почетку нису могле ни наслути. Развој полупроводничких електронских елемената је карактерисан доприносима многих људи, низом случајних открића и још већим низом значајних теоријских увида, где је могућа примена мотивисала експериментална и теоријска истраживања, чији резултати су даље отварали пут за нове могуће примене.

Предраг Пејовић је рођен у Београду 1966. године. На Електротехничком факултету Универзитета у Београду је стекао звања дипломираног инжењера 1990. године и магистра 1992. године. Докторирао је на University of Colorado at Boulder 1995. године. На Електротехничком факултету Универзитета у Београду је изабран у звање доцента 1996. године, ванредног професора 2000. године и редовног професора 2006. године. Тренутно предаје Електрична мерења, Софтверске алате у електроници, Аналогну електронику 2 и Енергетску електронику на основним студијама, Енергетску електронику 2 на мастер студијама, као и два предмета везана за енергетску електронику на докторским студијама. У истраживању се доминантно бави аналогном електроником, енергетском електроником, динамиком нелинеарних система, електричним мерењима, аутоматизацијом мерних система, позиционирањем у бежичним телекомуникационим мрежама, системима за аутоматско управљање и рачунарским методама за пројектовање, анализу и оптимизацију у енергетској електроници.

10:50 – 11:20

**др Марија Хрибшек**

### **Полупроводници у настави и научном раду на Електротехничком факултету у Београду**

Предавање приказује изучавање полупроводника у настави електронике на Електротехничком факултету у Београду од самог почетка средином прошлог века. Наставници са Катедре за електронику су посебно дали значајан допринос нашој, а и светској науци у области импулсне електронике са биполарним транзисторима као и у области сложених силицијумских структура.

Марија Хрибшек је рођена 1943. године у Чачку. Дипломирала је 1966. године на Електротехничком факултету у Београду, где је и магистрирала 1974. године. Докторирала је 1976 године на University of Maryland (САД). Од 1966 до 1968 год. је радила у фабрици Пионир -ЕИ. За асистента при Катедри за Електронику Електротехничког факултета у Београду изабрана је 1968. године, а за доцента 1980. године. За ванредног професора је изабрана 1987. године, а за редовног професора 1995. године. Отишла је у пензију 1.8.2001, али је још до 2008 год., по уговору са ЕТФ-ом, држала наставу на Војној Академији. Од октобра 2006 год до краја 2010 год. била је стално запослена у Институту Гоша. На основним студијама је држала наставу како из базичних тако и из других специјализованих предмета из области линеарне, импулсне и дигиталне електронике. Увела је у наставу предмете из области микроелектронике. На постдипломским студијама је предавала више предмета из области интегрисаних кола, микроелектронике и ПАТ компонената. Предавала је више година и Дигиталну електронику на Електротехничком факултету у Титограду, Линеарну интегрисану електронику на Факултету техничких наука у Новом Саду као и Импулсну и дигиталну електронику на Вишој електротехничкој школи у Београду. Више година је била саветник у Институту Михајло Пупин из области ПАТ филтара. У научно-истраживачком раду се бавила електромеханичким силицијумским филтрима, активним филтрима и филтрима и сензорима са површинским акустичним таласима (ПАТ). Из области ПАТ филтара и сензора је урадила самостално или била руководиоца више пројеката од који је последњи био финансиран од Министарства за технолошки развој Србије. Била је продекан за наставу школске 1983/84 и 1984/85, шеф Одсека за Електронику 1985-1989, заменик Шефа катедре за електронику у два мандата, делегат ЕТФ-а у Скупштини Универзитета, члан Одбора Удружења универзитетских наставника Београда, члан Савета Електротехничког факултета, члан Комисије за научни рад, руководиоца смера за Микроелектронику на постдипломским студијама и шеф катедре за електронику 1998/1999.

11:20–11:45

**Пауза**

11:45–12:15

**др Данијел Данковић**

### **Да ли су данашњи студенти упознати са достигнућима у области електронике у нашој држави?**

Крајем 19. и почетком 20. века почела су интензивнија проучавања физичких појава везаних за савремену електронику и дошло се до првих значајних открића, што је у великој мери одредило даљи развој света. Мада је научна област електроника стара већ више од једног века, она је у току своје историје имала изузетно динамичан развој, који се наставља и данас. Услед развоја нових технологија, стално се проналазе нови материјали и конструишу нове компоненте, са бољим перформансама. На интензиван развој електронике у великој мери утицали су и велики ратови у претходном периоду, током којих су многе државе спроводиле бројна и убрзана истраживања, а све у намери да се створи оружје које доноси примат. Тако су током Другог светског рата интензивирани проучавања појачавачког ефекта код полупроводничких материјала, јер се електронске цеви нису могле користити у радарској техници која ради у области микроталаса. Одмах по завршетку рата дошло је до најважнијих открића у области полупроводничких компонената. У нашој држави су се активно пратиле све активности на пољу науке и већ 1948. године основани су Заводи РР (радио и рендгенских цеви) у Нишу, а за рад у Заводу ангажовани су и немачки стручњаци. Десет година касније у Заводу је направљен први План развоја полупроводничких компонената. Електроника се развијала у многим градовима наше државе, али захваљујући Електронској индустрији Ниш овај град добија статус „града

електронике”. Деценијама је прилазе граду красила реклама „Добро дошли у Ниш – град електронике.” У којој мери су данашњи ученици и студенти упознати са достигнућима у развоју електронике у нашој држави?

Проф. др Данијел Данковић докторирао је 2009. године на Електронском факултету у Нишу, ванредни је професор и шеф Катедре за микроелектронику. До сада је држао наставу из 15 предмета, ангажован на 20 домаћих и међународних пројеката, објавио преко 140 радова, а од тога 35 у међународним часописима. Поред тога, аутор је и једног техничког решења, три помоћна уџбеника, једног основног уџбеника и једне књиге. Према подацима са SCOPUS-а научни радови кандидата имају 461 цитат (212 без аутоцитата), а његов h фактор је 13 (10 без аутоцитата). Уредник је часописа Facta Universitatis Series Electronics and Energetics и помоћник уредника часописа Microelectronics Reliability. Председник је међународне конференције MIEL и оснивач и председник конференције студенских радова IEEEESTEC, а члан је уређивачког одбора бројних конференција. Добитник је преко 20 признања за научни и наставни рад (награда Института за технологију Универзитета у Бечу за најбоље израђен дипломски рад, Награда најбољи студент докторских студија у свету у области електронских компонената у 2007. години, златна значка Факултета). Члан је IEEE од 1995. године, председник IEEE S&M ED/SSC друштва и члан извршног одбора IEEE S&M. Једна од изузетних активности на пољу едукације је реализовање радионица намењених ученицима основних и средњих школа. Члан је жирија Галаксија купа Србије, а дао је и допринос развоју такмичења EEESTEC Challenge и Sarajevo Inovations Festival. Имао је активности у оквиру програма IEEE EDS-ETC, где је под његовим руковођењем у претходних 5 година реализовано око 200 радионица. Спољни је сарадник ЗУОВ-а и руководиоца неколико реализованих пројеката под покровитељством ЦПН-а, у НК Ниш и Лесковац.

12:20 – 12:50

**др Владимир Миловановић**

### **CMOS – синоним за транзистор и интегрисано коло (у 99,99% случајева)**

CMOS, односно технологија комплементарних метал-диелектрик-полупроводник транзистора са ефектом поља, представља доминантан технолошки поступак данашњице у погледу удела у укупном броју произведених транзистора и полупроводничких направа уопште. У години када се навршава и 60 година од открића CMOS процеса биће дат историјски осврт на период који је претходио његовом непосредном проналаску, као и на године развоја и избијања на водеће место, те разлога који су до тога довели. Значај CMOS технологије у полупроводничкој индустрији је до те мере изражен да су безмало сви чипови у сегменту потрошачке електронике овог типа. Коначно, у сутон Муровог закона биће изнети савремени трендови CMOS технологије и будуће перспективе након полувековног скалирања димензија CMOS транзистора и доминације на тржишту.

Владимир Миловановић рођен је 2. октобра 1981. године у Смедеревској Паланци. Студирао је на Електротехничком факултету у Београду од 2000. године дипломиравши 2005. године као студент генерације. Докторирао је на Техничком универзитету у Делфту, Холандија, 2010. године одбранивши докторску дисертацију под називом "Напредно моделирање пробоја за пројектовање интегрисаних кола" и приложених теза. Од 2011. до 2013. године радио је као истраживач на Институту за електродинамику, микроталасе и пројектовање интегрисаних кола Техничког универзитета у Бечу, Аустрија. Од почетка 2014. провео је годину и по дана као постдокторанд у Центру за истраживања бежичних технологија на Калифорнијском универзитету у Берклију, САД. Почевши од јесени 2015. године запослен је на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, тренутно у звању ванредног професора. Др Миловановић је такође био на гостујућим, консултантским или саветодавним позицијама у великим компанијама полупроводничке индустрије као што су Texas Instruments, NXP Semiconductors, Infineon Technologies, Sony и Broadcom. У склопу индустријске сарадње, са непуним радним временом од 2016. године ангажован је као главни инжењер у ДОО NOVELIC у Београду, данас делу Sonar Comstar групе. Аутор или коаутор је више десетина чланака у међународним часописима и на међународним конференцијама и скуповима. Објавио је и једну монографију која је проистекла из истраживања обављених на докторским студијама. Добитник је и награда за најбољи студентски рад на реномираној IEEE VCTM конференцији 2009. године као и награде за најбољи рад на IEEE MIEL конференцији 2014. године. Редовни је рецензент за више научних часописа и међународних скупова, као и помоћни уредник међународног часописа Journal of Circuits, Systems and Computers издавача World Scientific Publishing од 2019. године до данас. Вишегодишњи је члан програмског одбора Државне комисије за средњошколска такмичења из програмирања. Био је вођа екипе Србије на неколико Међународних и Балканских информатичких олимпијада за ученике средњих школа. Области интересовања проф. Миловановића укључују пројектовање, моделирање и оптимизацију интегрисаних полупроводничких направа, кола и система, као и развој и хардверску имплементацију ефикасних алгоритама за обраду сигнала.

12:50 – 14:00

Пауза

14:00 – 14:30

др Слободан Вукосавић

### **Транзисторски прекидачи у енергетским претварачима**

Енергетски претварачи трансформишу напоне и струје извора електричне енергије у облик погодан за пренос и дистрибуцију путем електричних мрежа. На страни потрошње, претварачи прилагођавају напоне и струје мреже потребама потрошача. Поред пасивних компоненти које складиште енергију, енергетски претварачи садрже прекидачке транзисторе који усмеравају размену енергије. Предавање ће дати историјски преглед развоја и основних својстава биполарних прекидачких транзистора, MOSFET транзистора и IGBT транзистора. Излагање ће завршити приказом проблема у развоју и примени SiC и GaN прекидачких транзистора.

Слободан Н. Вукосавић је редовни члан Српске академије наука и уметности и редовни професор Електротехничког факултета у Београду. Његов истраживачки рад одвија се преваходно у области енергетике, енергетске електронике, дигиталног управљања и индустријске роботике. Публиковао преко 250 радова, од чега 60 радова у часописима са JCR листе. Написао је десет књига, међу којима и Digital Control of Electrical Drives, "电机" (Електромотори), Electrical Machines и Grid-Side Converters Design and Control у издању куће Springer. Према подацима издавачке куће Springer, електронске верзије поглавља књиге Electrical Machines преузете су 4,5 милиона пута. Према бази SCOPUS цитиран је преко 3300 пута (без самоцитата) и има Хиршов фактор  $h = 34$ . Руководио је израдом 50 истраживачко-развојних и индустријских пројекта. Докторирао је на Електротехничком факултету Универзитета у Београду, 1985, 1987. и 1989. године. Радио је у Институту Никола Тесла и ESCD лабораторијама компаније Emerson Electric. Учествовао је у формирању развојних центара и руководио развојем енергетске електронике и индустријске роботике у компанијама Vickers-Electric и MOOG. Пружао је консултације и израђивао пројекте за компаније Huawei, International Rectifier, Ferrari, Lord-Baladyne, Semicron, Polimotor, Elge, Iskra, Atech, General Electric и друге. Иницијатор и руководиоца научно-истраживачких пројеката у области заштите животне средине којима је објединио потенцијале домаћих факултета и института. У наставу на редовним и постдипломским студијама на Електротехничком факултету у Београду увео је групу предмета везаних за дигитално управљање у електроенергетици, индустријску роботiku и електрична возила, за које је написао одговарајуће уџбенике. Формирао је две научно-истраживачке лабораторије и обезбедио средства за њихов рад кроз међународне билатералне пројекте. Као резултат, под његовим руководством је реализовано 12 докторских дисертација, 16 међународних научно-истраживачких и развојних пројеката и значајан број националних пројеката. Слободан Вукосавић је изабран за дописног члана Академије инжењерских наука Србије 2002. године, а за редовног члана 2007. године. За дописног члана САНУ изабран је 2015. године, а за редовног члана 2021. године. Председник је Академијског одбора за енергетику.

14:35 – 15:05

др Тамара Поповић

### **Скорашњи развој транзисторских технологија базираних на InP намењених за рад на високим фреквенцијама**

Повећана потражња за све бржим преносом податак, посебно у различитим врстама комуникационих система, мотивисала је рапидан развој транзистора који су предвиђени да раде на тако високим фреквенцијама. Преглед актуелних технологија на InP супстратима, са посебним освртом на транзистора са великом покретљивошћу електрона (High Electron Mobility Transistors) и хетероструктурне биполарне транзисторе (Double Heterojunction Bipolar Transistor) који су део научно-истраживачког рада катедре за микроталасну електронику (Millimeter-Wave Electronics Group), Швајцарског Федералног Института за технологију у Цириху (ETH Zürich) ће бити представљен у овом предавању. Тренутно, оба типа поменутих транзистора нуде рекордне граничне учестаности. Најскорије објављени резултати обухватају транзисторе чија радна фреквенција превазилази неколико стотина GHz, па чак и 1 THz, што их чини савршеним кандидатима за многе апликације: комуникационе системе, радаре, пријемнике са посебно ниским нивоом шума, појачаваче снаге, програме за обраду слика и многе друге.

Др Тамара (Сарановац) Поповић је рођена у Београду 30.05.1987. Дипломирала је на Електротехничком факултету Универзитета у Београду 2010. године на катедри за електронику. Магистрала је на Швајцарском Федералном Институту за технологију у Лозани (EPFL) 2012. године на катедри за електронику и микроелектронику. Докторске студије је је уписала на Швајцарском Федералном Институту за технологију у Цириху (ETH Zürich) 2012. године, и докторирала је 2019. године на катедри за микроталасну електронику (MWE Group), под вођством Prof. Dr. Colombo Bolognesi. За њен истакнути рад током докторских студија награђена је сребрном ЕТН медаљом. Од 2019. до 2022. године је радила на ЕТН Сигх као постдокторант. Тамара је тренутно виши научни сарадник на катедри за микроталасну електронику, и ангажована је на пројектима везаним за дијази, фабрикацију и карактеризацију ултра брзих транзистора (High Electron Mobility Transistors-HEMTs) на InP супстратима намењених пријемницима у области радио астрономије. Транзисторе које је дизајнирала и произвела током докторских студија су у сарадњи са Европском Свемирском Агенцијом (ESA) и опсерваторијом у Шпанији (Yeibes) успешно имплементирани у пријемнике мреже земаљских станица (Ground Station Network). Поред научно-истраживачких активности, Тамара је и доцент на ЕТН Сигх, где предаје основе полупроводничких уређаја, физичке електронике, и микроталасне електронике.

15:05 – 15:30

**Пауза**

15:30 – 16:00

**др Владимир Стојановић**

**Going Beyond Moore's Law:  
Electronic-Photonic Systems-on-Chip for Compute, Communications and  
Sensing**

Evident slowdown in CMOS scaling comes at an unfortunate time when Artificial Intelligence drives unprecedented demand across all segments of the semiconductor industry. We need to look beyond Moore's Law to technologies that provide additional degrees of freedom - just like inductors on-chip enabled CMOS chips in the mobile revolution, and transmission lines on-chip enabled mm-wave and 5G+. Electronic-Photonic Systems-on-Chip (EPSoCs) are an emerging semiconductor technology platform, which enables breakthrough designs for future compute, communication and sensing systems by leveraging monolithic integration of transistors and silicon-photonic components. In this talk, we will describe the proof-of-concept designs for some of the applications including interconnects for high-performance compute/AI scale-out, cryogenic readout and massive-MIMO wireless infrastructure. We will also show ongoing work in using the same EPSoC platform in biosensing and quantum computing.

Vladimir Stojanovic is a Professor of Electrical Engineering and Computer Sciences at University of California, Berkeley. His research interests include design, modeling and optimization of integrated systems, from CMOS-based VLSI blocks and interfaces to system-on-chip design with emerging devices like NEM relays and silicon-photonics. Vladimir received his Ph.D. in Electrical Engineering from Stanford University in 2005, and the Dipl. Ing. degree from the University of Belgrade, Serbia in 1998. He was also with Rambus, Inc., Los Altos, CA, from 2001 through 2004 and with MIT as Associate Professor from 2005-2013. He received the 2006 IBM Faculty Partnership Award, and the 2009 NSF CAREER Award as well as the 2008 ICCAD William J. McCalla, 2008 IEEE Transactions on Advanced Packaging, 2010 ISSCC Jack Raper best paper and 2021 ISSCC Best Forum Presenter awards. He was an IEEE Solid-State Circuits Society Distinguished Lecturer for the 2012-2013 term. Vladimir is a co-founder of Ayar Labs, NanoSemi and Numerical.

16.05 – 16.35

**др Милан Машановић**

### **Транзистори и интегрисана кола - кључне технологије која омогућавају примену фотонице**

Откриће транзистора и интегрисаних кола је омогућило развој и изузетан напредак многих нових дисциплина, укључујући и фотонику. У овом предавању ћемо се осврнути на главне примене транзисторских интегрисаних кола у модерној фотоници: напајање, модулацију, повратну спрегу при управљању фотонским компонентима, обраду сигнала као и хибридну опто-електронску интеграцију која ће бити основа даљег развоја система вештачке интелигенције.

Др Милан Машановић је председник компаније "Freedom Photonics - a Luminar Company". Милан има 25 година стручног искуства у области фотонице, укључујући дизајн, технологију, тестирање и паковање фотонских интегрисаних кола. Као оснивач предузећа, има више од 15 година искуства у свим аспектима пословања, развоја и руковођења. Др Машановић је радио као научни сарадник, а потом и као хонорарни професор на Универзитету у Калифорнији, Санта Барбара, бавећи се експерименталним истраживањима везаним за фотонска интегрисана кола од индијум фосфида и држањем постдипломске наставе из области полупроводничких ласера и фотонских ИС-а. Током дугог низа година, био је гостујући професор на Електротехничком факултету у Београду. Аутор је преко 150 научних радова из области фотонице и има 12 патената. Такође, један је од аутора уџбеника "Diode Lasers and Photonic Integrated Circuits". Дипломирао је на смеру за физичку електронику Електротехничког Факултета Универзитета у Београду 1998, док је магистратуру и докторат из примењене фотонице завршио на Универзитету у Калифорнији, Санта Барбара.

16:35 – 17:00

**Пауза**

17:00 – 17:30

**др Горан Машановић**

### **Транзисторске технологије за „електронику 21. века”**

Развој транзистора, повећање њихове ефикасности и смањење димензија, узроковали су револуцију у многим областима науке и технологије за последњих 75 година. Електронски уређаји и системи имају данас могућност обављања врло сложених операција и налазе примену у различитим областима. Међутим, отварају се примене где им је потребна помоћ фотонице, "електронике 21. века". Фотонски уређаји, нарочито они базирани на силицијуму, нуде нова решења за дата центре, самовозеће аутомобиле и медицинске сензоре. У овом излагању ћу представити како технике из електронике могу да се искористе за реализацију ефикасних фотонских уређаја.

Проф. др Горан Машановић је одрастао у Ваљеву где је био ученик Ваљевске Гимназије. Дипломирао је и магистрирао на Електротехничком факултету Универзитета у Београду. Од 1995. до 2000. године је био асистент на Електротехничком факултету, а од 2000. године живи у Енглеској где је 2005. докторирао на Универзитету Сари (University of Surrey) из области силицијумске фотонице, а 2009. магистрирао на истом универзитету на тему унапређења наставе коришћењем нових технологија. Од 2012. године је редовни професор на Универзитету у Саутемпτονу (University of Southampton) у најпрестижнијем британском и једном од најбољих светских института за оптику (Optoelectronics Research Centre - ORC) где води групу за силицијумску фотонику. Његова група ради на реализацији интегрисаних оптичких кола за дата центре, самовозеће аутомобиле и сензоре за медицину и контролу квалитета воде. Пројекти које проф. Машановић води финансирају индустрија, Министарство за науку и Академија наука. Такође је гостујући професор на Електротехничком Факултету у Београду. Аутор је 450 научних радова и добитник више награда за истраживање и држање наставе. Професор Машановић је члан неколико српских удружења у Великој Британији која раде на промоцији српске културе, уметности, језика и историје.

17:35 – 18:05

др Марко Лончар

## High Performance Integrated Photonics

The last two decades have seen tremendous progress in the field of integrated photonics, and chip-scale photonic systems can now be found everywhere: from optical communications and sensing, to machine vision and precision measurements. However, traditional integrated photonic platforms, based on e.g., silicon and compound semiconductors, are reaching their limits and cannot keep up with the demands for more speed, less energy consumption, and advanced functionality. High performance thin film lithium niobate photonic platform pioneered by my team can overcome these limitations. For example, our electro-optic modulators can power up high-speed optical communication systems and can send data over a wide range of distances with low loss. Our frequency combs are important for environmental and biomedical monitoring, as well as realization of precise optical clocks and ranging systems. Finally, microwave-to-optical transducers and quantum repeaters enabled by our platform will lead to realization of quantum internet.

Marko Lončar is Tiansai Lin Professor of Electrical Engineering at Harvard's John A Paulson School of Engineering and Applied Sciences (SEAS), and chair of Electrical Engineering area. Lončar received his Diploma from University of Belgrade (R. Serbia) in 1997, and PhD from Caltech in 2003 (with Axel Scherer), both in Electrical Engineering. After completing his postdoctoral studies at Harvard (with Federico Capasso), he joined Harvard faculty in 2006. Lončar is expert in nanophotonics and nanofabrication. He has done pioneering work in the field of quantum and nonlinear nanophotonics, and is recognized for his work on the development of diamond and thin film lithium niobate nanophotonic platforms, in particular. Lončar has co-authored more than 260 manuscripts in top scientific journals and has given more than 300 invited talks and seminars. He has received NSF CAREER Award in 2009, Sloan Fellowship in 2010, Marko Jarić Foundation Award in 2020, and Microoptics Conference Award in 2023. In recognition of his teaching activities, Lončar has been awarded Harvard University Levenson Prize for Excellence in Undergraduate Teaching (2012), and has been named Harvard College Professor in 2017. Lončar is fellow of Optical Society of America, and Senior Member of IEEE and SPIE. He is co-founder of HyperLight Corporation (Cambridge, MA), VC backed startup commercializing lithium-niobate technology developed in his lab.