

3. PERSPEKTIVE RAZVOJA VISOKIH TEHNOLOGIJA U CRNOJ GORI U XXI VIJEKU

*Nikša Tadić**

Sažetak: Predstavljene su perspektive razvoja visokih tehnologija u Crnoj Gori, sa naglaskom na integrisanim poluprovodničkim tehnologijama, odnosno nanotehnologijama. Razvoj nanotehnologija uslovljen je javnim finansiranjem. Nanotehnologije imaju potencijal da stvore 7 miliona novih radnih mjesta u svijetu do 2015. godine. Industrijski poluprovodnički sektor u Crnoj Gori ne postoji. Na Elektrotehničkom fakultetu u Podgorici postoji istraživačka grupa koja se bavi integrisanim poluprovodničkim tehnologijama u saradnji sa partnerima iz Austrije. Predložena strategija razvoja visokih tehnologija u Crnoj Gori bazira se na uspostavljanju Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj, na saradnji istraživača iz Crne Gore sa centrima u svijetu, kao i na stvaranju povoljnog ekonomskog ambijenta za ulaganja u visoke tehnologije u Crnoj Gori.

Ključne riječi: *ekonomski uticaj, integrisane poluprovodničke tehnologije, istraživanje i razvoj, mikro i nano-elektromehanički sistemi, nanotehnologije, visoke tehnologije*

Abstract: The perspectives of the high-level technologies development in Montenegro, with emphasis on integrated semiconductor technologies, i. e., nanotechnologies, are presented. The nanotechnology development is conditionally related to the public funding. Nanotechnology has the potential to create 7 million jobs overall by 2015 on the global market. An industrial semiconductor sector in Montenegro does not exist. There is a research group at the Faculty of Electrical Engineering, Podgorica, working in the field of integrated semiconductor technologies in cooperation with partners from Austria. The proposed strategy for the high-level technologies development in Montenegro is based on establishment of the Ministry for science and technology development, on the cooperation of the researchers from Montenegro with the centers in the world, as well as creation of the suitable economic environment for investments in high-level technologies in Montenegro.

Key words: *economic impact, integrated semiconductor technologies, research and development, micro- and nano-electromechanical systems, nanotechnologies, high-level technologies*

* Prof. dr Nikša Tadić, Elektrotehnički fakultet, Univerzitet Crne Gore, Podgorica

3. 1. UVOD

Sve faze razvoja ljudske civilizacije imale su svoje „visoke tehnologije”. Bez obzira na istorijski period, pod pojmom visoke tehnologije podrazumijevaju se najakutelnija naučna dostignuća primijenjena u raznim domenima društvenih aktivnosti odgovarajućeg doba. Nema sumnje da je otkriće točka, papira, baruta, kompasa, teleskopa, parne mašine ili telegrafa predstavljalo rezultat rada pojedinaca ili grupa ljudi u domenu tadašnjih visokih tehnologija.

Šta se danas podrazumijeva pod pojmom „visoke tehnologije”? Odgovor nije jednostavno dati zbog velikog broja vrhunskih dostignuća u različitim oblastima nauke, a koja imaju veliki uticaj na privredne aktivnosti, zdravstvenu zaštitu, zaštitu životne sredine, sistem bezbjednosti, obrazovanje, kulturu, životni standard, vrhunski sport i druge oblasti života i rada savremenog svijeta u XXI vijeku. Zbog toga će u ovom radu akcenat biti stavljen samo na jednu naučnoistraživačku oblast iz domena visokih tehnologija koja je imala, koja ima i koja će, prema svim realnim procjenama, imati ogroman uticaj na razvoj svih ljudskih aktivnosti u budućem periodu. U pitanju su integrisane poluprovodničke tehnologije sa posebnim akcentom na integrisanim kolima nanometarskih dimenzija koja pripadaju domenu nanotehnologija. To je naučna oblast koja je imala najintenzivniji razvoj generalno gledano među svim oblastima nauke u periodu od početka druge polovine XX vijeka do danas. O veličini uticaja ove naučne discipline govori i podatak da su mnogi naučnici koji su se bavili poluprovodničkim tehnologijama dobitnici Nobelove nagrade (John Bardeen, Walter H. Brattain, William B. Shockley, Leo Esaki, Ivar Giaever, Brian David Josephson, Zhores I. Alferov, Herbert Kroemer, Jack Kilby, Charles K. Kao, Willard S. Boyle, George E. Smith).

Poluprovodnička revolucija počela je 1947. godine otkrićem bipolarnog tranzistora od strane Bardeen-a, Brattain-a i Shockley-a [1]-[5] u Bell-ovim laboratorijama. Dvanaest godina kasnije realizovana su prva integrisana kola nezavisnim radom dvojice velikana elektronike: Jack-a Kilby-a u Texas Instruments-u [6] i Robert-a Noyce-a u Fairchild Semiconductor-u [7]. Gordon Moore (Fairchild Semiconductor) je 1965. godine formulisao zakon koji nosi njegovo ime i po kome se broj tranzistora smještenih na integrisanom kolu udvostručava približno svake dvije godine [8]. Ovaj zakon je korišćen u poluprovodničkoj industriji za dugoročna planiranja i definisanje ciljeva istraživanja i razvoja. Moore-ov zakon precizno opisuje brzinu tehnoloških i socijalnih promjena tokom druge polovine XX i početkom XXI vijeka. Danas se došlo do čipova veličine poštanske marke sa više od milijardu tranzistora.

Gdje su granice? Odgovor na ovo pitanje možda mogu dati istraživanja u oblasti nanotehnologija.

Gdje je mjesto Crne Gore u oblasti visokih tehnologija? Ovaj rad je pokušaj da se daju generalne smjernice za priključenje Crne Gore onim zemljama koje svoj elitizam baziraju na znanju.

3. 2. NANOTEHNOLOGIJE – ZNAČAJ, TRENDOVI I CILJEVI

Nastanak nanotehnologija nagoviješten je vizionarstvom američkog fizičara Richard-a Feynman-a [9]. Sam pojam „nanotehnologija” po prvi put je uveden od strane japanskog naučnika Norio Taniguchi-a [10].

Nanotehnologija je termin koji se koristi za projektovanje, konstrukciju i korišćenje funkcionalnih struktura sa najmanje jednom karakterističnom dimenzijom mjerenom nanometrima [11]. Takvi materijali i sistemi mogu se projektovati tako da prikazuju nova i značajno unaprijeđena fizička, hemijska i biološka svojstva, kao rezultat ograničene veličine njihovih sastavnih djelova, odnosno atoma i molekula. Kada se karakteristične strukturne dimenzije nađu u zoni između dimenzija izolovanih atoma i dimenzija materijala velikih zapremina, tj. u opsegu od 1 nm do 100 nm, objekti mogu prikazati fizičke osobine značajno različite od onih koje pokazuju bilo izolovani atomi, bilo objekti velikih dimenzija. Nanomaterijali posjeduju jedinstvene mehaničke, elektronske, magnetne, optičke i hemijske osobine, otvarajući vrata novim mogućnostima pravljenja nanostruktura i projektovanja integrisanih nanouređaja, sa primjenama u informatici i telekomunikacijama, biotehnologiji i medicini, fotonici i elektronici [12]. Originalna vizija Richard-a Feynman-a bila je u vidu ‘bottom-up’ pristupa fabrikaciji materijala i uređaja na nivou atoma ili molekula. Atomi i molekuli, sa njihovom dobro poznatom subatomsom strukturom, predstavljaju gradivne elemente za sintezu tipa atom po atom, i u nekim slučajevima, samomontažnu izgradnju. Alternativni ‘top-down’ pristup predstavlja ultraminiaturizaciju, odnosno dobijanje manjih struktura nagrizanjem i/ili glodanjem većih struktura. Oba pristupa zahtijevaju sredstva vizuelizacije, mjerenja i manipulacije osobinama nanostruktura, kao i kompjuterske simulacije karakteristika materijala ovih dimenzija.

Nanoinženjerstvo i nanotehnologije promijeniće prirodu većine struktura, uređaja i sistema koje je napravio čovjek [13]. Trenutne potrebe i trendovi obuhvataju usavršavanje i transfer tehnologije, proizvodnju i razvoj, implementaciju i testiranje, modelovanje i karakterizaciju, projektovanje i optimizaciju, simulaciju i analizu uređaja mikronskih i nanometarskih dimenzija. Od posebnog interesa su logička kola, aktuatori i senzori, digitalna i analogna integrisana kola itd., koji se baziraju na molekularnim strukturama. Korišćenjem molekularne tehnologije, moguće je projektovati i proizvesti uređaje atomskih dimenzija, sa atomskom preciznošću, korišćenjem atomskih gradivnih elemenata, od elektromehaničkih uređaja za kretanje (aktuatori i senzori za translatorno i rotaciono kretanje) do integrisanih kola nanometarskih dimenzija (diode i tranzistori, logička kola i prekidači, otpornici i kalemovi, kondenzatori). Sadašnja istraživanja su fokusirana na analizi i sintezi molekularnih struktura i uređaja koji će dovesti do revolucionarnih proboja, prije svega u obradi podataka. Na primjer, otkriće karbonskih nanocijevi koje se prave od pojedinačnih molekula predstavlja značajan napredak u oblasti nanoelektronike. Vlakna napravljena korišćenjem karbonskih nanocijevi su 100 puta jača i 5 puta lakša od čelika, imaju 5 puta veću provodnost od srebra i provode toplotu bolje od dijamanta. Mikro-elektromehanički i nano-elektromehanički sistemi visokih perfor-

mansi i uređaji mikrometarskih i nanometarskih dimenzija biće široko zastupljeni u nanokompjuterima, medicini (nanohirurgija i nanoterapija, neodbacivi vještački organi i implantati, praćenje kretanja i djelovanja lijekova, dijagnostika), biotehnologiji (genomska sinteza), hemijskim analizama i sintezama, biološkim analizama i detekciji, transportu i otkrivanju narkotika, inženjeringu tkiva, konverziji i skladištenju energije, itd.

Novi fenomeni u mikro-elektromehnici i nano-elektromehnici, fizici i hemiji, testiranje performansi sistema proizvedenih nanotehnološkim postupcima, kontrola kompleksnih molekularnih struktura, projektovanje i optimizacija arhitekture visokog stepena integracije samo su neki od problema kojima se treba baviti [13]. Osim tehnološkog razvoja i proizvodnje, mogućnost sinteze i optimizacije mikro-elektromehaničkih i nano-elektromehaničkih sistema zavisi od analitičkih i numeričkih metoda i aktuelni koncepti i konvencionalne tehnologije ne mogu biti direktno primijenjene zbog visokog stepena složenosti i novih fenomena. Sadašnje aktivnosti su fokusirane na razvoj i primjenu raznovrsnih eksperimentalnih tehnika u cilju karakterizacije mehaničkih (strukturnih i termičkih), elektromagnetnih (provodnost i osjetljivost, dielektričnost i permeabilnost, gustina struje i naelektrisanja, propagacija i radijacija), optičkih i drugih osobina mikro-elektromehaničkih i nano-elektromehaničkih sistema. Utvrđeno je da CMOS tehnologija, površinsko mikropodešavanje i fotolitografija, *near-field* optička mikroskopija i magneto-optika, kao i druge vodeće tehnologije i procesi mogu samo do izvjesne mjere da se primijene i prilagode proizvodnji struktura i uređaja mikrometarskih i nanometarskih dimenzija. Međutim, moraju se sprovesti posebna interdisciplinarna istraživanja u cilju projektovanja, razvoja i primjene mikro-elektromehaničkih i nano-elektromehaničkih sistema visokih performansi. Naučnoistraživački rad u oblasti mikrosistema sa integrisanim nanometarskim strukturama i funkcijama veoma je izazovan između ostalog i zbog veoma kompleksne multidisciplinarne strukture (inženjerstvo i fizika, biologija i hemija, tehnologija i nauka o materijalima, matematika i medicina).

3. 3. STRATEGIJA RAZVOJA NANOTEHNOLOGIJA NA GLOBALNOM NIVOU

Američka Nacionalna nanotehnološka inicijativa uspostavljena je 2001. godine, kao pokušaj koordinisanja američkih federalnih nanotehnoloških istraživačko-razvojnih inicijativa [14]. Uloga Nacionalne nanotehnološke inicijative bila je kreiranje okvira za širok nanotehnološki istraživačko-razvojni program uspostavljanjem ciljeva, prioriteta i strategija, i koordiniranjem napora među pojedinim vladinim agencijama. Od kada je tadašnji predsjednik Sjedinjenih Američkih Država Bill Clinton inicirao javno finansiranje (finansiranje iz vladinog budžeta) nanotehnoloških istraživanja sredinom 1990-ih godina, rezultat je bio prilično produktivan u smislu uspostavljanja najveće infrastrukture u svijetu za bazna nanotehnološki orijentisana istraživanja. Ono je stvorilo nacionalnu mrežu od preko 70 istraživačkih i korisničkih centara uspostavljenih i potpomognutih od strane Nacionalne nanotehnološke inicijative u čitavoj zemlji, dovodeći do „procvata istraživačko-razvojnog

okruženja nanometarske nauke i inženjerstva unutar Sjedinjenih Američkih Država” [14]. Ovo je pomoglo podsticanju industrije da bude uključena u proces, istraži komercijalne mogućnosti i direktno komunicira sa ovom infrastrukturom, koja je uveliko povezana sa univerzitetskim sistemom.

Pošto su Sjedinjene Američke Države ključna zemlja u nastojanju da međunarodno okruženje poveća javna izdvajanja za nanotehnološka istraživanja, razvoj i komercijalizaciju, plan Nacionalne nanotehnološke inicijative je važan predvodnik za industriju u svijetu [14]. Mnogobrojni planovi vlada drugih država, i planovi same industrije razvijeni u drugim krajevima svijeta, bili su direktan rezultat, odnosno, direktan odgovor na finansijska izdvajanja Sjedinjenih Američkih Država. Kontinuirana javna podrška (podrška države) pomaže utvrđivanju smjernica za istraživače sa univerziteta, kao i za one iz industrijskog sektora koji u kontinuitetu imaju jak interes u komercijalizaciji nanotehnologija. Iako se može polemisati oko toga da li su u nekim slučajevima neke druge zemlje vodeće u stvarnoj komercijalizaciji nanotehnologija, posebno Japan, Sjedinjene Američke Države još uvijek nastoje da značajno oblikuju aktivnosti ostalih zemalja.

Tabela 3. 1. Procijenjena izdvajanja od strane vlada pojedinih zemalja (regiona) za nanotehnološka istraživanja i razvoj za period od 1997. do 2003. godine (u milionima USD)

Region	Godina						
	1997.	1998.	1999.	2000.	2001.	2002.	2003.
Zapadna Evropa	126	151	179	200	225	400	600
Japan	120	135	157	245	465	700	810
SAD	116	190	255	270	422	600	774
Ostali	70	83	96	110	380	550	800
Ukupno	432	559	687	825	1492	2347	2984

Zapadna Evropa: Evropska unija i Švajcarska

Ostali: Australija, Kanada, Kina, Istočna Evropa, Izrael, Koreja, Singapur, Tajvan

Ono što je važno uočiti o porastu nivoa istraživanja i komercijalizacije u oblasti nanotehnologija u Sjedinjenim Američkim Državama jeste njena povećana zavisnost od stranog učešća [14]. Ovo se prije svega odnosi na istraživače koji su u bili edukovani van Sjedinjenih Američkih Država. Zatim, tu su i velike strane kompanije (azijske i evropske) koje kao partneri iz industrije investiraju u istraživanje i razvoj nanotehnologija u Sjedinjenim Američkim Državama, uključujući i ulaganja u univerzitetske laboratorije i start-up kompanije. Dakle, porastom nanotehnološke infrastrukture u Sjedinjenim Američkim Državama sam sistem je postao mnogo više međunarodno orijentisan nego što je bila naučna i tehnološka infrastruktura u Sjedinjenim Američkim Državama u periodu prije pojave nanotehnološke ere. Njen kontinuirani porast i uspjeh zavise od kontinuiranog priliva i odliva stranih ljudi, stranog know-how i stranog kapitala.

Nanonauka i nanotehnologija otvaraju novu eru integrisanog fundamentalnog istraživanja u domenu nanometarskih dimenzija, koherentnije naučno i inženjersko obrazovanje, ekonomičnu fabrikaciju proizvoda nanometarskih dimenzija i stvaraju

osnovu za unapređenje kadrovskih kapaciteta i društvenih tokova tokom dužeg perioda. Nacionalna nanotehnološka inicijativa Sjedinjenih Američkih Država je vizi-onarski program sa ukupnim budžetom od 961 miliona USD u fiskalnoj 2004. go-dini [15]. Najmanje 35 država iniciralo je nacionalne aktivnosti u ovoj oblasti u pe-riodu do 2004. godine, djelimično stimulisane vizijom i planovima Nacionalne na-notehnološke inicijative. Istraživačko-razvojne investicije u oblasti nanotehnologi-ja u svijetu, saopštene od strane vladinih organizacija, povećale su se više od 6 pu-ta u periodu od 1997. do 2003. godine, od 430 miliona USD na 3 milijarde USD (Ta-bela 3. 1).

Naučnici su stvorili široku mrežu koja ne zaobilazi nijednu glavnu istraživačku oblast u fizici, biološkim i tehničkim naukama i naukama o materijalima. Industri-ja se uvjerila da će nanotehnologija donijeti konkurentne prednosti kako u tradicio-nalnim tako i u oblastima koje tek nastaju. U 2000. godini je procijenjeno da će go-dišnji globalni prihod od proizvoda u kojima će nanotehnologije igrati ključnu ulo-gu preći 1000 milijardi USD do 2015. godine, što će zahtijevati oko 2 miliona rad-nika u oblasti nanotehnologija [15]. Ova procjena je bazirana na analizi postojećih istraživačko-razvojnih aktivnosti u industriji u Sjedinjenim Američkim Državama, Japanu i Zapadnoj Evropi. Iznos od 1000 milijardi USD predstavlja 10% bruto nacio-nalnog proizvoda Sjedinjenih Američkih Država ostvarenog 2003. godine. Iskustvo pokazuje da svaki radnik u sektoru informacionih tehnologija omogućava otvara-nje u prosjeku 2.5 nova radna mjesta u drugim oblastima privrede. Dakle, nanoteh-nologije imaju potencijal da stvore 7 miliona novih radnih mjesta na globalnom tr-žištu do 2015. godine [15]. Takođe, ako se uzme u obzir da su informacione tehnolo-gije uticale da produktivnost u Sjedinjenim Američkim Državama raste stopom ve-ćom od 1% godišnje tokom 1990-ih (što je približno polovina ukupnog porasta pro-duktivnosti od oko 2.1% tokom 1990-ih), sličan ili možda i veći uticaj očekuje se od nanotehnologija.

Sjedinjene Američke Države su inicirale multidisciplinarnu strategiju razvo-ja fundamentalne nauke i inženjerstva kroz Nacionalnu nanotehnološku inicijati-vu baziranu na dugotrajnoj viziji. Procijenjeni budžet Federalne Vlade Sjedinjenih Američkih Država za nanotehnološka istraživanja u fiskalnoj 2004. godini iznosio je 961 milion USD [15]. Japan, Evropska unija i odnedavno Kina inicirale su široke programe u oblasti nanotehnologija. Ostale zemlje, uključujući Koreju, Tajvan, Au-straliju, Kanadu, Istočnu Evropu, Izrael, Indiju i Singapur, ulažu sve više sredstava iz svojih javnih fondova u ovu oblast. Stopa porasta u budžetima njihovih vlada u prethodnom periodu veća je nego u tri preostale zone (Sjedinjene Američke Države, Japan, Zapadna Evropa). Uočene su razlike među pojedinim zemljama u oblastima istraživanja, u nivou programske integracije u različite sektore industrije i u vremen-skim rokovima za postizanje njihovih istraživačko-razvojnih ciljeva. Administracija tadašnjeg predsjednika Sjedinjenih Američkih Država George-a Bush-a je 2008. go-dine predvidjela približno 1.45 milijardi USD za Nacionalnu nanotehnološku inici-jativu [16], obezbjeđujući kontinuitet u trendu porasta javnih izdvajanja. Ulaganja u nanotehnologije vlada država širom svijeta narasla su na 6.4 milijardi USD 2006. go-dine, što predstavlja povećanje od 10% u odnosu na 2005. godinu [16]. Vlada najve-

će ekonomije u svijetu vjeruje da će nanotehnologije uticati na gotovo sve kategorije proizvoda u narednih 10 godina. Procijenjeno je da bi 15% do 20% od globalne proizvodnje u ukupnom iznosu od nekih 2600 milijardi USD (do 2014. godine) moglo biti ostvareno primjenom nanotehnologija [16].

Stopa razvoja i komercijalizacije nanotehnologija postala je istinski globalni pokušaj, pošto je sposobnost upravljanja naprednim istraživanjima raširena preko najvećeg dijela industrijalizovanog svijeta kao i mnogih brzorastućih ekonomija koje podržavaju jake obrazovne programe u oblasti inženjerstva i nauke [16]. Internacionalizacija istraživanja i razvoja, globalne istraživačke i proizvodne mreže stvorile su sasvim novo okruženje za tehnološke inovacije i komercijalizaciju. Kao rezultat, praćenje razvoja u nanotehnološkom prostoru zahtijeva ne samo bitan globalni pogled već i da taj posmatrač ima široko i duboko poznavanje industrijskih sektora na koje će uticati porast nanotehnologija. Za neke od ovih sektora prisustvo navedenih tehnologija biće od neprocjenjivog značaja, dok će za druge biti razarajuće, dovodeći do kreativne destrukcije.

Aktivnosti u smjeru komercijalizacije pomažu da se potvrdi upotrebljivost *green field* istraživanja sprovedenih na univerzitetskom nivou, što obezbjeđuje podsticaj za veća finansiranja. Ovo će pomoći da se tehnologije u razvoju poguraju do nivoa kada nastupa privatni sektor [16]. Privatni sektor obezbjeđuje lavovski dio istraživanja i razvoja kada tehnologije izađu iz laboratorija i pređu u proizvodne pogone. Uvođenje privatnog sektora je ključno za komercijalizaciju. Privatne kompanije su zainteresovane za one tehnologije koje imaju dugotrajnu istoriju finansiranja od strane javnog sektora i koje su bile u centru obimnog istraživanja na nivou univerziteta. Ovo značajno umanjuje investicioni rizik i odgovarajuće troškove istraživanja i razvoja. Pobudni aspekt nanotehnologija je vrlo široko interesovanje od strane industrije, odnosno privatnog sektora. Nanotehnologije su identifikovane od strane mnogih industrijskih sektora kao ključne tehnologije koje će dovesti do značajnog ekonomskog rasta u budućnosti. Glavne industrijske zemlje nijesu jedine koje su ovo prepoznale, pošto su mnoge brzorastuće privrede sa odličnim obrazovnim programima u oblastima inženjerstva i nauke takođe obilježile nanotehnologije kao cilj za koordiniranu javnu finansijsku podršku. Privatni sektor, održavajući vrlo jako interesovanje, još uvijek tretira nanotehnologije kao proces koji se razvija, iako je komercijalna aktivnost bila velika. Ulaganja svjetskih korporacija u istraživanja i razvoj nanotehnologija dostigla su 5.3 milijardi USD u 2006. godini, što predstavlja povećanje od 19% u odnosu na prethodnu godinu [16].

3. 4. AKTUELNO STANJE INTEGRISANIH POLUPROVODNIČKIH TEHNOLOGIJA U CRNOJ GORI

Vlada Crne Gore do sada nije imala viziju razvoja integrisanih poluprovodničkih tehnologija. Ulaganje iz budžeta Vlade Crne Gore u ovaj sektor do sada nije zabilježeno. Industrijski sektor koji se bavi istraživanjem, razvojem i proizvodnjom u oblasti integrisanih poluprovodničkih tehnologija u Crnoj Gori ne postoji. Sa druge strane, na Elektrotehničkom fakultetu u Podgorici postoji grupa istraživača ko-

ji se bave naučnoistraživačkim radom u oblasti integrisanih poluprovodničkih tehnologija [17]. Naučnoistraživački rad ove grupe započinje 2004. godine uspostavljanjem saradnje sa Vienna University of Technology, Faculty of Electrical Engineering and Information Technology, Institute of Electrodynamics, Microwave and Circuit Engineering. Rezultati rada ove grupe nagovještavaju mogućnost značajnijeg učešća Crne Gore u razvoju visokih tehnologija, koje bi bilo prepoznato u međunarodnom okruženju. Realizovani projekti nastali tokom saradnje ove grupe sa partnerima iz Austrije prikazani su na slikama 3. 1. (a–d).

Prvi čip realizovan je i eksperimentalno verifikovan tokom 2004. i 2005. godine. Predstavlja optički prijemnik sa promjenljivom transimpedansom u integrisanoj silicijumskoj BiCMOS tehnologiji (optoelectronic integrated circuit OEIC 1) [18]–[21]. Njegova fotografija prikazana je na Slici 3. 1a). Dimenzionisan je za primjene u optoelektronskim memorijama (CD, DVD, Blue-Ray). Ovaj optički prijemnik postigao je najveće pojačanje (transimpedansu) do tada zabilježeno u *otvorenoj literaturi*, u iznosu od 1.45 M Ω .

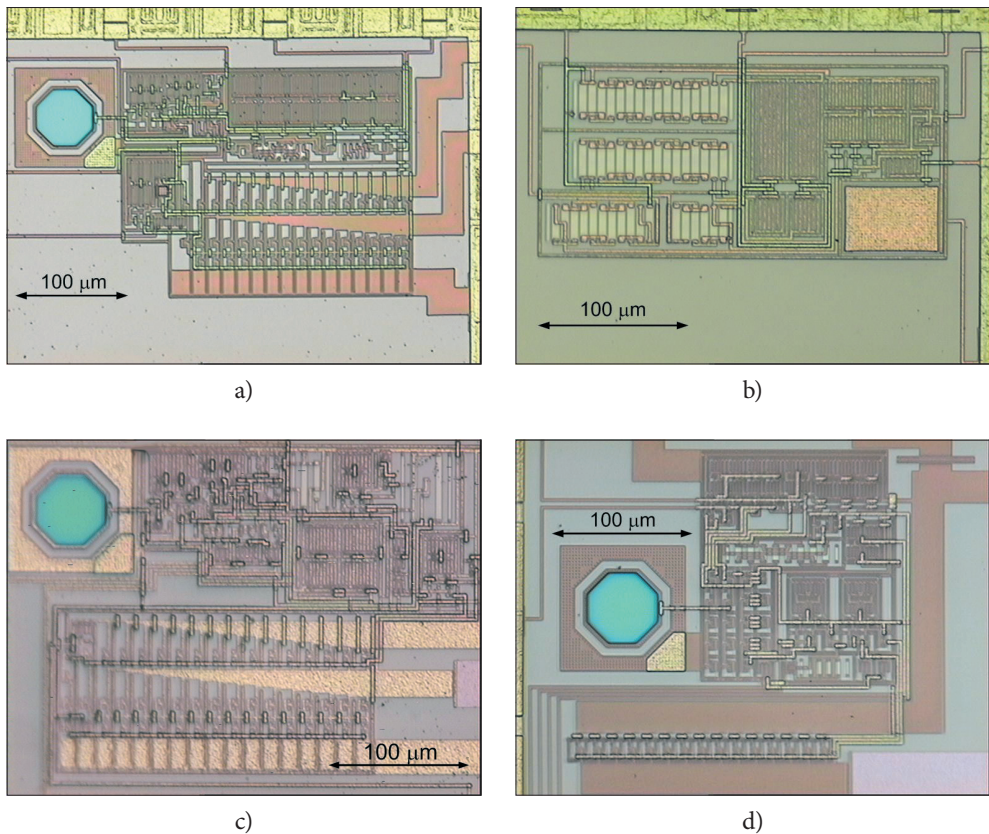
Drugi čip realizovan je i eksperimentalno verifikovan u periodu od 2005. do 2007. godine. Predstavlja *rail-to-rail* operacioni pojačavač sa ulaznim adapterskim kolom u integrisanoj silicijumskoj BiCMOS tehnologiji [22]–[24]. Njegova fotografija prikazana je na Slici 1. 1b). Radi na naponu napajanja od 1.5 V i ima disipaciju snage od samo 100 μ W. Sastoji se od svega 13 tranzistora, 8 otpornika i jednog kondenzatora. Zauzima ubjedljivo najmanju površinu na čipu u poređenju sa *rail-to-rail* operacionim pojačavačima koji se mogu naći u *otvorenoj literaturi*.

Treći čip realizovan je i eksperimentalno verifikovan tokom 2007. i 2008. godine. Predstavlja optički prijemnik sa promjenljivom transimpedansom u integrisanoj silicijumskoj BiCMOS tehnologiji (optoelectronic integrated circuit OEIC 2) [25]–[27]. Njegova fotografija prikazana je na Slici 3. 1c). Dimenzionisan je za primjene u optoelektronskim memorijama (CD, DVD, Blue-Ray). Ovaj optički prijemnik postigao je dva najbolja rezultata do tada zabilježena u *otvorenoj literaturi*. Prvo, najveće pojačanje (transimpedansa) u iznosu od 4.7 M Ω . Drugo, najveći proizvod transimpedansa frekventni opseg, u iznosu od 122 T Ω Hz.

Četvrti čip realizovan je i eksperimentalno verifikovan tokom 2008. i 2009. godine. Predstavlja optički prijemnik sa promjenljivom transimpedansom u integrisanoj silicijumskoj BiCMOS tehnologiji (optoelectronic integrated circuit OEIC 3). Njegova fotografija prikazana je na Slici 3. 1d). Dimenzionisan je za primjene u optoelektronskim memorijama (CD, DVD, Blue-Ray). Ovaj optički prijemnik postigao je tri najbolja rezultata do sada zabilježena u *otvorenoj literaturi*. Prvo, najveće pojačanje (transimpedansa) u iznosu od 12.9 M Ω . Drugo, najveći proizvod transimpedansa frekventni opseg, u iznosu od 285 T Ω Hz. Treće, najveći odnos maksimalnog i minimalnog pojačanja (transimpedanse) u iznosu od 8300.

Važno je napomenuti sljedeće činjenice:

– Samo je prvi projekat (realizovan tokom 2004. i 2005. godine) iniciran od strane partnera iz Austrije, dok su svi ostali inicirani od strane istraživačke grupe sa Elektrotehničkog fakulteta iz Podgorice.



Slika 3. 1. Integrirana kola u silicijumskoj BiCMOS tehnologiji nastala u periodu od 2004. do 2009. godine kao rezultat saradnje Elektrotehničkog fakulteta u Podgorici i Vienna University of Technology, Faculty of Electrical Engineering and Information Technology, Institute of Electrodynamics, Microwave and Circuit Engineering: a) optički prijemnik OEIC 1; b) rail-to-rail operacioni pojačavač sa ulaznim adapterom; c) optički prijemnik OEIC 2; d) optički prijemnik OEIC 3.

- Vođe svih navedenih projekata bili su članovi istraživačke grupe sa Elektrotehničkog fakulteta u Podgorici.
- Troškove fabrikacije i eksperimentalne verifikacije svih navedenih projekata finansirali su partneri iz Austrije.
- Navedena dostignuća publikovana u najprestižnijim međunarodnim časopisima za integrirane poluprovodničke tehnologije predstavljaju rezultat znanja stečenog u obrazovnom sistemu Crne Gore.
- Većina projekata je realizovana tokom dvomjesečnih boravaka članova istraživačke grupe sa Elektrotehničkog fakulteta u Podgorici na Institute of Electrodynamics, Microwave and Circuit Engineering. Pri tome, detaljna priprema samih projekata obavljena je tokom ostatka godine (10 mjeseci) na Elektrotehničkom fakultetu u Podgorici.

3. 5. PRIJEDLOG OSNOVNIH POSTULATA STRATEGIJE RAZVOJA VISOKIH TEHNOLOGIJA U CRNOJ GORI

U skladu sa analizom prikazanom u poglavlju III, jasno je da se savremene visoke tehnologije mogu uspješno razvijati samo pod uslovom da je prisutno kontinualno i dugoročno finansiranje istraživačkog rada iz budžetskih sredstava. To je pravilo koje važi kako za vodeće ekonomije svijeta tako i za brzorastuće ekonomije pojedinih srednjerazvijenih država. Ukoliko Crna Gora ima ambiciju da postane član tog sada već prilično brojnog kluba zemalja koje visoke tehnologije tretiraju kao pitanje svog budućeg prosperiteta, lako je zaključiti kakav je redosljed poteza koje treba povući. U skladu sa tim, kao i na osnovu trenutnog stanja u oblasti visokih tehnologija u Crnoj Gori, prijedlog osnovnih postulata strategije razvoja visokih tehnologija u Crnoj Gori bio bi sljedeći:

– Formiranje Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj i formiranje Fonda za nauku i inovacije namijenjenog dugoročnom i kontinuiranom finansiranju istraživačkog rada u domenu visokih tehnologija. Veličina izdvajanja novčanih sredstava treba da bude u skladu sa standardima Evropske unije. Vlada Crne Gore bi trebalo da prepozna, uz intenzivne konsultacije sa naučnim autoritetima, koje su to naučne discipline iz domena visokih tehnologija od posebnog interesa za razvoj Crne Gore. Fond za razvoj visokih tehnologija bio bi namijenjen svim naučnim institucijama iz Crne Gore bez obzira na to da li pripadaju državnom ili privatnom sektoru. O raspodjeli sredstava iz ovog Fonda odlučivala bi posebna komisija u čiji sastav bi ušli naučni autoriteti iz odgovarajućih naučnih oblasti. Iz ovog Fonda bi se finansirala nabavka opreme, stručna usavršavanja u inostranstvu, redovna primanja istraživača koji su angažovani na istraživačkim projektima, kao i kreditiranje (što bi bilo u domenu onog dijela Fonda za nauku i inovacije koji se odnosi na inovacije) otvaranja malih *start-up* kompanija koje bi se bavile komercijalnim visokim tehnologijama.

– Uspostavljanje profesionalnih veza postojećih centara naučnoistraživačkog rada u Crnoj Gori sa jakim naučnoistraživačkim institucijama, u svijetu prepoznatljivim po dostignućima u oblasti visokih tehnologija. Svrha uspostavljanja saradnje sa inostranim centrima ovog tipa najmanje je dvojaka. Prvo, u ovim centrima bi se obavljalo stručno usavršavanje kadrova (doktorske i postdoktorske studije) iz Crne Gore koje bi finansirao Fond za nauku i inovacije. Drugo, vremenom bi istraživači iz Crne Gore učestvovali u realizaciji pojedinih projekata koji bi se ostvarivali pod rukovodstvom odgovarajućeg inostranog centra. Pri tome, zbog multidisciplinarnog pristupa razvoju visokih tehnologija i zahvaljujući savremenim načinima komunikacije, sam rad na odgovarajućem dijelu istraživačkog projekta bi mogao da se obavlja u Crnoj Gori, pod uslovom da postoji odgovarajuća laboratorijska oprema.

– Stvaranje povoljnog ekonomskog ambijenta u Crnoj Gori za strana i domaća ulaganja u proizvodne kapacitete iz domena visokih tehnologija. Vlada Crne Gore treba da započne ovu aktivnost istovremeno sa formiranjem Fonda za nauku i inovacije. Nakon niza godina planskog ulaganja u razvoj visokih tehnologija bila bi formirana kritična masa eksperata iz oblasti visokih tehnologija u Crnoj Gori. Treba očekivati da će tada neki od domaćih eksperata vremenom odlučiti da formiraju

svoje *start-up* kompanije. Te činjenice, uz povoljan ekonomski ambijent, bile bi dovoljan motiv za privlačenje stranog kapitala za ulaganje kako u male *start-up* kompanije tako i za pokretanje visokoprofitabilne serijske proizvodnje iz domena visokih tehnologija.

Navedeni postulati su lako razumljivi, logični, i dobro poznati vladama svih zemalja u razvoju koje su procijenile da visoke tehnologije treba da predstavljaju jedan od nosećih stubova ekonomije njihovih zemalja.

Da bi istraživanja u oblasti integrisanih poluprovodničkih tehnologija u Crnoj Gori postala nezavisna od laboratorijske opreme i softverskih alata koje su koristili članovi istraživačke grupe sa Elektrotehničkog fakulteta tokom dosadašnje saradnje sa partnerima iz Austrije, potrebno je ulaganje od oko 1.5 milion €. Sa ovim početnim ulaganjem, podrazumijevajući da se svake godine u prosjeku odbrane 2 magistarska rada, i svake druge godine odbrani jedan doktorat, realno je očekivati da bi se u periodu od 5 do 7 godina mogla stvoriti jaka naučnoistraživačka grupa koja bi potpuno samostalno mogla da se uključi u međunarodna partnerstva po osnovu učešća u istraživačkim projektima u oblasti integrisanih poluprovodničkih tehnologija. Uz povoljan ekonomski ambijent koji bi u međuvremenu stvorila Vlada Crne Gore, ljudski resursi sadržani u ovoj grupi, kao i laboratorije i infrastruktura, predstavljali bi dodatni motiv za ulaganja u sektor poluprovodničkih tehnologija u Crnoj Gori od strane partnera iz inostranstva.

Moguća su dva scenarija za razvoj industrijskog sektora u oblasti poluprovodničkih tehnologija u Crnoj Gori. Prema prvom scenariju, početak razvoja industrijskog sektora u oblasti poluprovodničkih tehnologija bazirao bi se na formiranju malih *start-up* kompanija. U skladu sa iskustvima iz okruženja, osnovna sredstva (oprema i softverski alati za projektovanje integrisanih kola) i obrtna sredstva u ovim malim firmama uglavnom se obezbjeđuju putem bankarskih kredita. Po pravilu, uspješne *start-up* kompanije relativno brzo, nakon nekoliko uspješno realizovanih projekata, dobijaju ponude za uključanje u sastav velikih kompanija iz istog sektora poluprovodničkih tehnologija. Ovakvi kupoprodajni ugovori odgovaraju i kupcu (velika kompanija) i prodavcu (mala *start-up* kompanija). Kupac se na ovaj način štiti od potencijalne konkurencije koja bi se mogla javiti razvitkom male *start-up* kompanije. Prodavac se na ovaj način oslobađa problema obezbjeđivanja projekata, odnosno borbe na tržištu, kao i problema vraćanja kredita. Nakon obavljenog kupoprodajnog ugovora, prvobitna *start-up* kompanija nastavila bi sa radom u Crnoj Gori, ali u sastavu velike strane kompanije, radeći na projektima koje definiše centrala u sjedištu kompanije, pri čemu sva kreditna zaduženja preuzima kupac. Prema drugom scenariju, velike strane kompanije bi direktno investirale u otvaranje pogona za projektovanje i fabrikaciju integrisanih kola u Crnoj Gori. Bez obzira na to koji bi scenario bio aktuelan, dva su ključna motiva za stranog ulagača da investira u razvoj poluprovodničkih tehnologija u Crnoj Gori: edukovani kadar i relativno niske plate u poređenju sa razvijenim zemljama Zapada.

Najbolje plaćeni inženjeri elektrotehnike u Sjedinjenim Američkim Državama su oni koji se bave projektovanjem integrisanih kola [28], [29]. Prosječna plata inženjera ovog profila u Sjedinjenim Američkim Državama tokom 2000. godine iznosi-

la je 93500 USD, u bruto iznosu na godišnjem nivou [28]. Poređenja radi, na drugom mjestu su inženjeri telekomunikacija, sa prosječnom platom od 92900 USD, u bruto iznosu, takođe 2000. godine [28]. Jedan od lošije plaćenih inženjerskih poslova u elektrotehnici u Sjedinjenim Američkim Državama je u domenu elektroenergetskih sistema, sa prosječnom platom od 73625 USD, bruto, u 2000. godini [28]. U periodu od 2000. godine do pojave svjetske ekonomske krize 2008. godine, plate u oblasti elektrotehnike, a posebno u oblasti projektovanja integrisanih kola, bile su u stalnom porastu [29]. Vodeći računa da je neto iznos plate u Sjedinjenim Američkim Državama oko 60% bruto iznosa, može se procijeniti da je prosječna godišnja neto plata inženjera koji radi u sektoru projektovanja integrisanih kola oko 60000 USD. Dakle, oko 5000 USD mjesečno. Ako bi strani ulagač obezbijedio duplo manje plate inženjerima koji bi radili u pogonu za projektovanje i fabrikaciju integrisanih kola u Crnoj Gori u odnosu na plate u Sjedinjenim Američkim Državama, iznos ove prosječne neto plate u Crnoj Gori bio bi oko 2500 USD (oko 1800 €). Ovaj iznos primanja bio bi vrlo atraktivan za sve kadrove edukovane u Crnoj Gori u oblasti poluprovodničkih tehnologija, a istovremeno vrlo stimulativan za stranog ulagača.

3. 6. ZAKLJUČAK

Iskustvo većeg broja zemalja, kako onih najrazvijenijih tako i onih u razvoju, koje svoj budući ekonomski napredak baziraju na razvoju visokih tehnologija, pokazuje da je ovaj razvoj moguć samo uz dugoročno i kontinuirano finansiranje iz javnih budžetskih izvora, odnosno iz državnih fondova. Posebno je naglašena potreba za multidisciplinarnim pristupom i timskim radom u razvoju visokih tehnologija. Stanje visokih tehnologija u Crnoj Gori je na niskom nivou. Postoje određeni univerzitetski istraživački centri koji bi mogli da posluže kao realna početna osnova za razvoj visokih tehnologija u Crnoj Gori. Koristeći iskustva zemalja u razvoju koje su značajno odmakle u naučnoistraživačkom radu u oblasti visokih tehnologija, dat je prijedlog osnovnih postulata strategije razvoja visokih tehnologija u Crnoj Gori.

LITERATURA

- [1] Bardeen, J. et al.: „Three-electrode circuit element utilizing semiconductive materials”, *U. S. patent 2524035*, oldest priority 26. 02. 1948.
- [2] Shockley, W.: *Bell Labs lab notebook No. 20455*, pp. 128–32, 23, January 1948.
- [3] Shockley, W.: „Circuit Element Utilizing Semiconductive Material”, *U. S. Patent 2569347*, Filed June 26, 1948, Issued September 25, 1951.
- [4] Shockley, W.: „The Theory of P-N Junctions in Semiconductors and P-N Junction Transistors”, *Bell System Technical Journal*, Vol. 28, No. 3, pp. 435–89, July 1949.
- [5] Shockley, W.: *Electrons and Holes in Semiconductors with Applications to Transistor Electronics*, New York: Van Nostrand, 1950.
- [6] U. S. Patent 3138743, *Miniaturized Electronic Circuits*, filed February 6, 1959, issued June, 1964.
- [7] U. S. Patent 2981877, *Semiconductor Device and Lead Structure*, filed July 1959, issued April 1961, assigned to Fairchild Semiconductor.

-
- [8] Moore, G. E.: „Cramming more components onto integrated circuits”, *Electronics Magazine*, volume 38, number 8, April 19, 1965.
- [9] Feynman, R. P.: „There’s Plenty of Room at the Bottom”, *Presentation to American Physical Society*, 1959.
- [10] Taniguchi, N.: „On the Basic Concept of ‘Nano-Technology’ ”, *Proceedings of the International Conference on Production Engineering*, Part II, Japan Society of Precision Engineering, Tokyo, 1974.
- [11] Kelsall, R. W.; Hamley, I. W. and Geoghegan, M. (Editors): *Nanoscale Science and Technology*, Chichester, West Sussex, England: John Wiley & Sons, 2005.
- [12] Fecht, H. J. and Werner, M. (editors): *The Nano-Micro Interface: Bridging the Micro and Nano Worlds*, Weinheim, Germany: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2004.
- [13] Lyshevski, S. E.: *Nano- and Microelectromechanical Systems – Fundamentals of Nano- and Microengineering*, New York: CRC Press, 2001.
- [14] Ross, L.: „NNI in the future – The United States revises its strategic nanotechnology program”, *IEEE Nanotechnology Magazine*, Vol. 1, no. 2, pp. 17–19, December 2007.
- [15] Roco, M. C.: „U. S. National Nanotechnology Initiative: Planning for the Next Five Years”, in H. J. Fecht and M. Werner (Editors), *The Nano-Micro Interface: Bridging the Micro and Nano Worlds*, Weinheim, Germany: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2004.
- [16] Ross, L.: „A global effort – mass commercialization of nanotechnology is on the way”, *IEEE Nanotechnology Magazine*, Vol. 1, no. 1, pp. 4–5, September 2007.
- [17] www.msoc.me
- [18] Tadić, N. and Zimmermann, H.: „Highly linear BiCMOS optical receiver with voltage-controlled sensitivity”, *Electronics Letters*, vol. 42, no. 2, pp. 116–117, 19 th January 2006.
- [19] Tadić, N. and Zimmermann, H.: „Optical receiver with voltage-controlled transimpedance in BiCMOS technology”, in *Proceedings of the IEEE International Conference on Microelectronics MIEL 2006*, Belgrade, Serbia and Montenegro, pp. 421–424, 14–17 May, 2006.
- [20] Tadić, N. and Zimmermann, H.: „Low-power BiCMOS optical receiver with voltage-controlled transimpedance”, *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol. 42, pp. 613–626, March 2007.
- [21] Tadić, N. and Zimmermann, H.: „Optical receiver with widely tunable sensitivity in BiCMOS technology”, *IEEE Transactions on Circuits and Systems, part I: Regular papers*, vol. 55, pp. 1223–1236, June 2008.
- [22] Tadić, N.; Banjević, M.; Schloegl, F. and Zimmermann, H.: „Input adapter based BiCMOS operational amplifier with rail-to-rail capability”, in *Proceedings of the IEEE International Conference on Microelectronics MIEL 2008*, Niš, Serbia, pp. 403–406, 11–14 May, 2008.
- [23] Tadić, N.; Banjević, M.; Schloegl, F. and Zimmermann, H.: „Rail-to-rail BiCMOS operational amplifier using input signal adapters with floating outputs”, *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, vol. 63, no. 3, pp. 433–449, June 2010.
- [24] Tadić, N.; Zogović, M.; Banjević, M. and Zimmermann, H.: „A Low-Voltage CMOS Adapter Circuit Suitable for Input Rail-to-Rail Operation”, *International Journal of Electronics*, in press.
- [25] Tadić, N.; Marchlewski, A. and Zimmermann, H.: „BiCMOS optical receiver with 54.7 dB voltage-controlled sensitivity range”, *Electronics Letters*, vol. 44, no. 6, pp. 440–441, 13 th March 2008.

- [26] Tadić, N.; Marchlewski, A. And Zimmermann, H.: „Optical receiver with voltage-controlled transimpedance in BiCMOS technology with a gain bandwidth product of 126 TΩHz”, in *Proceedings of the IEEE International Conference on Microelectronics MIEL 2008*, Niš, Serbia, pp. 399–402, 11–14 May, 2008.
- [27] Tadić, N.; Marchlewski, A. And Zimmermann, H.: „A 122 TΩHz transimpedance bandwidth product BiCMOS optical sensor front-end with a 54.7 dB voltage-controlled photo-sensitivity range”, *Analog Integrated Circuits and Signal Processing*, vol. 61, no. 1, pp. 19–33, October 2009.
- [28] Chowdhury, B. H.: „Power education at the crossroads”, *IEEE Spectrum*, vol. 37, no. 10, pp. 64–68, October 2000.
- [29] Costlow, T.: „Engineering salaries rise again”, *IEEE Spectrum*, vol. 42, no. 7, pp. 47–48, July 2005.