

# Čudesan svijet silicijskih divova

**Napredni materijali** i nanoelektronika imaju važne uloge na FER-u

U ovom stoljeću primarna su potreba ljudske vrste hrana, voda i kvalitetno zdravlje, ali i potreba za učinkovitim pretvorboj energije, transportom i brzom komunikacijom nastavit će rasti. Neki od ključnih odgovora na te potrebe jesu razvoj i komercijalizacija novih materijala, novih elektroničkih i optičkih elemenata te njihova minijaturizacija i integracija u sklopove (čipove) i sustave. Dimenzije današnjih elektroničkih elemenata mjere se u mikrometrima i nanometrima (tisućitih i milijuntih dijelova milimetra). Trend minijaturizacije očito će se nastaviti i u doglednoj budućnosti. Najmanja je struktura u današnjem računalnom čipu 22 nm, ali uskoro se previđa prelazak na još manje dimenzije. Na području novih materijala uspješna komercijalizacija kristalnog rasta složenih poluvodiča na bazi dušika (galijev, aluminijev i indijev nitrid) i silicijeva karbida u posljednjih deset godina omogućila je visokoučinkovitu poluvodičku rasvjetu, visokonaponske tranzistore te Schottkyjeve diode za solarne pretvarače i kontrolu električnih strojeva. Rezultati istraživanja s umjetnim kristalima s nekonvencionalnim elektromagnetskim svojstvima, tzv. metamaterijalima, obećavaju nove tipove senzora u medicini i korjenitu minijaturizaciju potrošačke elektronike.

**Davne 1962.** ruski fizičar Viktor Veselago proučavao je materijale čiji električni i magnetski parametri (tzv.

Na Fakultetu elektrotehnike i računarstva (FER) Sveučilišta u Zagrebu u tijeku su intenzivne istraživačke i razvojne aktivnosti na području elektroničkih elemenata, sklopova, senzora i metamaterijala radi predstavljanja i komercijalizacije tih tehnologija. Svjesni su da se trend minijaturizacije nastavlja

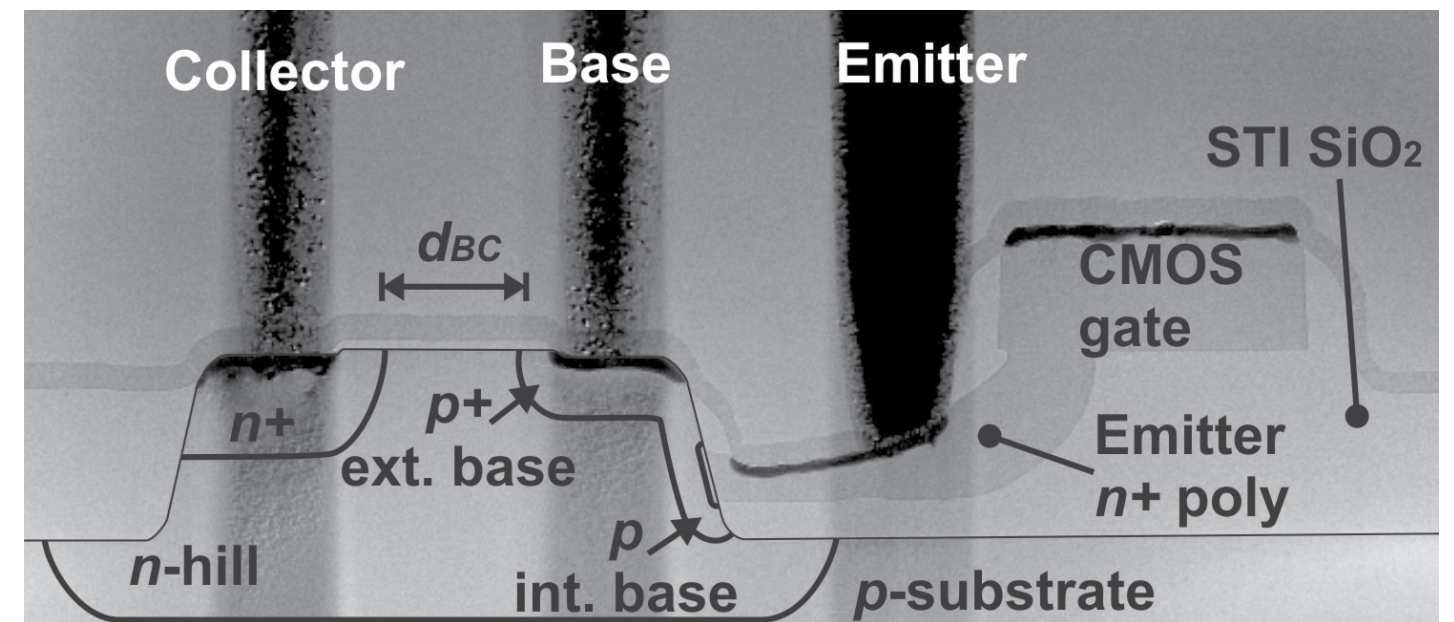
permitivnost i permeabilnost) imaju negativne vrijednosti. Pokazalo se da bi ti materijali mogli okrenuti na glavu zakon loma, Dopplerov efekt i još neke fenomene. Nažalost, 'negativni' materijali ne postoje u prirodi pa je Veselagov rad pao u zaborav sve do svibnja 2000. kad je načinjen prvi umjetni 'negativni' materijal (tzv. metamaterijal). Od tada se to područje intenzivno financira i istražuje diljem svijeta.

**Metamaterijali nude** potpuno nove inženjerske primjene, poput superleće s beskonačnom razlučivosti za povećavanje gustoće zapisa na CD- i DVD-medijima, 'plašta nevidljivosti' koji onemogućava radarsku ili čak vizualnu detekciju proizvoljnog objekta te minijaturizacije antena i valovoda u radiofrekvencijskom i optičkom području.

Na FER-u pod vodstvom prof. dr. sc. Silvia Hrabara djeluje skupina za metamaterijale koja aktivno surađuje s mnogim sveučilištima i tvrtkama u Europi, Aziji i SAD-u. Ta je skupina u srpnju 2000. (samo dva mjeseca poslije konstrukcije prvoga metamaterijala u svijetu) izradila negativni metamaterijal u mikrovalnom području, a 2005. konstruirala je i prvi subvalni rezonator na svijetu. Nadalje, 2007. načinjena je skalirana 'replika' nanoplazmoničkoga kuglastog rezonatora, 2010. izrađen je i prvi prototip aktivnoga širokopolasnog metamaterijala na svijetu. Trenutačno skupina razvija grafenske i rekonfigurabilne metamaterijale na projektima koje financira laboratorij Američke vojske.

**U istraživanju** elektroničkih komponenata djeluje skupina pod vodstvom prof. dr. sc. Tomislava Suligoja. Na ZEMRIS-u je izumljen i razvijen bi-

polarni tranzistor s horizontalnim tokom struje (engl. Horizontal Current Bipolar Transistor - HCBT), najbrži silicijski lateralni bipolarni tranzistor na svijetu, zaštićen s osam patenata. U suradnji s japanskom tvrtkom Asahi Kasei Microdevices trenutno se razvijaju prvi ultrabrz i kompaktni HCBT-sklopovi, na čemu radi doc. dr. sc. Marko Koričić. U istoj skupini razvijen je i vertikalni MOS-tranzistor s tijelom u silicijskom listiću debljine manje od 2 nm s vrlo dobrim električnim karakteristikama, koji je eksperimentalno verificiran u suradnji s Delft University of Technology. S istim sveučilištem surađuje se i na razvoju i analizi foto-



detektora sa slojevima amornog bora debljine od 1 do 10 nm koji pokazuju rekordnu osjetljivost u ultraljubičastom području. Također se radi na procesiranju i analizi transporta nosilaca struje u elektroničkim elementima baziranim na grafenu i grafenskim nanotrakama, koji se sastoje od jednoatomske sloja ugljika.

Istraživačka skupina  
prof. dr. sc.



Adrijana Barića radi na projektiranju i testiranju integriranih elektroničkih sklopova. Budući da se dimenzije tranzistora neprestano smanjuju, najmanje dimenzije u tranzistorima pale su na samo nekoliko nanometara, tj. na samo nekoliko slojeva atoma, što je već samo po sebi fascinantno. To smanjenje dimenzija znatno je povećalo brzinu rada tranzistora i elektroničkih sklopova u kojima se rabe tranzistori, tako da sada mikroprocesori rade na frekvencijama od nekoliko gigaherca.

**To je, međutim,** izazvalo i mnogo negativnih popratnih učinaka: veliko zagrijavanje čipova, neželjeno preslušavanje signala s jednog na drugi dio sklopa te zračenje smetnji u prostor oko čipa. Ta istraživačka skupina specijalizirala se za projektiranje čipova i modeliranje neželjenih učinaka koji se pojavljuju u radu čipova te stoga posljednjih deset godina rade na projektima sa Sveučilištem u Leuvenu (KU Leuven) i belgijskom tvrtkom ON Semiconductor na modeliranju, mjerenju i pakiranju čipova te ekstrakciji i modeliranju parametara prosjernih linija na čipu i tiskanom pločicama radi smanjenja utjecaja vanjskih smetnji na rad čipa i neželjenog zračenja čipa u okolni prostor. Smanjenje utjecaja zračenja na čip i zračenja čipa može se svesti pod zajednički naziv 'elektromagnetska kompatibilnost'. Analiza elektromagnetske kompatibil-

● Presjek HCBT-strukture, najbržeg lateralnog bipolarnog tranzistora na svijetu, razvijenog na FER-u, povećane 50.000 puta skenirajućim elektronskim mikroskopom

● Replika plazmoničkoga kuglastog rezonatora razvijena na FER-u. Ova struktura omogućuje verificiranje rada nanoplazmoničkih optičkih valovoda mjerenjima u radiofrekvencijskom području (300 MHz) bez upotrebe skupe nanotehnoške opreme, koje, uostalom, i nema u Hrvatskoj

nosti čipova i elektroničkih sustava podrazumijeva uporabu alata za analizu sklopova, trodimenzionalnu simulaciju elektromagnetskog polja te modeliranje utjecaja temperature na rad sklopova i udruživanje rezultata dobivenih iz tih alata u konzistentan model elektromagnetske kompatibilnosti.

**Industriji treba** širok spektar senzora i pretvarača. Naprimjer, električnim strojevima trebaju osjetljivi optički senzori vibracija, plinova i temperature. U medicini i medicinskoj instrumentaciji, koja se brzo razvija, potrebni su optički i električni senzori te sustavi za otkrivanje plinova i specifičnih tvari u tijelu, primjerice glukoze ili kolesterola. Trend prema višoj energijskoj učinkovitosti također nas vodi prema zamjeni fluorescentne rasvjete u stanovima i poslovnim prostorijama te živinih i natrijevih svjetiljaka u uličnoj rasvjeti poluvodičkim osvjetljenjem.

**Optoelektroničke** i elektroničke komponente za primjenu u senzorima i rasvjeti nedavno je počela istraživati skupina pod vodstvom prof. dr. sc. Zvonimira Šipušića i doc. dr. sc. Du-bravka Babića. Današnji projekti uključuju senzore za temperaturu i vibracije u električnim strojevima te stabilne izvore svjetla za primjenu u medicinskoj i industrijskoj instrumentaciji. Planovi uključuju razvoj mikroskopskih svjetlosnih izvora, nanolaseri i dioda koji će se zatim integrirati u složene senzorske sustave. ●