

ŠUM ŠOTKIJEVOG KONTAKTA NANOMETARSKIH DIMENZIJA

Milan M. Jevtić, Jovan M. Hadži-Vuković, Institut za fiziku, Beograd,

Sadržaj – U radu je analiziran šum Šotkijevih barijernih kontakata sa dimenzijama između 30 i 100nm. Takođe su diskutovani mogući izvori šuma i metode njihovog prepoznavanja.

1. UVOD

Sa smanjenjem dimenzija elemenata integriranih kola (IK), kao oblika klasične minijaturizacije u mikroelektronici, već su se istakli zahtevi za što kvalitetnijim šotkijevim barijernim kontaktima (ŠBK). U odnosu na taj tzv. klasični pristup minijaturizaciji, razvoj i primena nanotehnologija zahtevaju nove kvalitativne pristupe studiji ŠBK, jer njegove dimenzije postaju uporedljive ili manje od nekih fizičkih karakterističnih dužina poput srednje dužine slobodnog puta i Debajevе dužine.

Smanjenje elektronskih naprava po principu minijaturizacije do 0,1 μ m praćeno je proučavanjem njihovih karakteristika zasnovanim na makroskopskim pristupima. U oblasti razmera u kojima su dimenzije reda Debrojleve talasne dužine elektrona i manje, a to je ispod 30nm, moraju se uzeti u obzir kvantnomehanički prostorni efekti. Za razmere dimenzija između 30 i 100nm mora se voditi računa o uporedljivosti tih razmera sa karakterističnim fizičkim dužinama, što neminovno ograničava primenu makroskopskih pristupa u analizi komponenata nanometarskih razmera.

Kada je reč o ŠBK može se primetiti da se pitanje ŠBK nanometarskih dimenzija pojavilo već kod šotkijevih dioda većih površina povezano sa problemom neuniformnosti visine barijere (VB) [1], [2]. Uočeno je da lokalna smanjenja VB utiču na efektivnu visinu barijere ŠBK. Prostorno je to lokalno smanjenje VB nekoliko desetina nm, odnosno reda veličine ŠBK nanometarskih razmera. Primenom dipolne aproksimacije nadjeno je da u oblasti takvih nehomogenosti oblik potencijala dna provodne zone u oblasti osiromašenja zavisi od dimenzija nehomogenosti [1], pri čemu je lokalni maksimum pomen u odnosu na međupovršinu kontakta. Isto tako, u cilju da se objasne odstupanja strujno naponskih (I-V) karakteristika nanodimenzionog ŠBK od onih većih dimenzija, predložen je model zavisnosti širine i visine barijere od oblika i dimenzija kontakta [3], koje dovodi do dominacije tunelske struje sa smanjenjem dimenzija kontakta [4]. Pitanja povezana sa električnim karakteristikama nanometarskih ŠBK još uvek su bez potpunog odgovora. U okviru toga i problem šuma ovih kontakata je jedno od otvorenih pitanja, posebno kada je reč o nefundamentalnim šumovima, onim povezanim sa defektima u oblasti kontakta.

Polazeći od modela po kojem je dominantna struja tunelovanja u nanometarskom ŠBK, onda bi šumne karakteristike kontakta morale da zavise od kvantno mehaničkih efekata tunelovanja. Generalno, kao fundamentalni se javlja kvantni 1/f šum [5] kao specijalni oblik fundamentalnog 1/f šuma prouzrokovanog elektrodinamičkim kvantnim 1/f efektom. Ovaj efekat potiče od interakcije električnih naelektrisanja sa njihovim poljem,

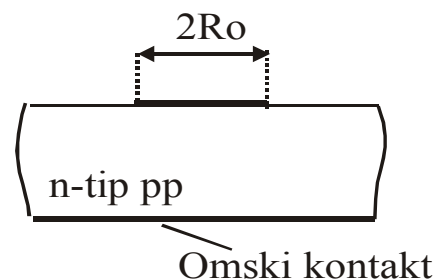
jer se električna naelektrisanja karakterišu svojim postojanjem u prostoru i vremenu. Ovaj šum može se analizirati analitički [5] uvodeći Hooge-ov parametar 1/f šuma. Takođe, kvantni šum u nanometarskim napravama može se analizirati Monte-Karlo (MK) simulacijom [6], [7].

Sa stanovišta studije kvaliteta i pouzdanosti nanometarskog ŠBK pomoću šuma, nas posebno interesuje nefundamentalni niskofrekventni šum. On može dati 1/f spektar kao rezultat superpozicije lorencovih spektara oblika $1/(1+\omega^2\tau^2)$ koji potiče od eksponencijalno opadajućih procesa sa autokorelacionom funkcijom oblika $\exp(-t/\tau)$. Ipak, ovi procesi kao efekti klopki [8] manifestovaće se kao RTN šum u napravama malih dimenzija. Ovo ukazuje na to da se pri pokušaju da se razume šum u nanometarskom ŠBK mora voditi računa o veličini kontakta, kao i o statistici primesa i defekata koja dolazi do izražaja pri smanjenju dimenzija naprava.

U ovom radu, u cilju da se bolje razume šum u nanometarskom ŠBK prvo su analizirani efekti malih dimenzija na karakteristike ŠBK, a potom je analiziran šum u njemu. Razmatrani su pojedini izvori šuma i izvršena je analiza efekata smanjenja dimenzija kontakta na šum. Pažnja je usredsređena na oblast dimenzija kontakta od 30 do 100nm, tj. oblast dimenzija u kojoj su još uvek bitni efekti smanjenja dimenzija.

2. EFEKTI MALIH DIMENZIJA U ŠBK

Posmatraćemo ŠBK formiran pomoću metalnog klastera na površini poluprovodnika. Neka je poluprovodnik Si n-tipa. Metalni klaster ćemo aproksimirati diskom poluprečnika R_0 (sl.1). Ne uzimamo u obzir efekte debljine klastera. Oцениćemo prvo međusobne odnose karakterističnih dimenzija povezanim sa primesama i defektima i dimenzija kontakta u opsegu uobičajenih koncentracija za ŠBK.



Sl.1 Skica ŠBK realizovanog sa metalnim diskom poluprečnika R_0

Ako, u srednjem, svakom atomu primese pripišemo zapreminu a^3 , onda za koncentracije donorskih primesa N_D u granicama od 10^{15} do $5 \cdot 10^{17} \text{cm}^{-3}$ karakteristična veličina a će imati vrednosti od 100 do 12,6nm, respektivno. Prema [3], sa povećanjem dimenzija ŠBK širina oblasti osiromašenja nosiocima w_b teži svojoj vrednosti w_{b0} za velike ŠBK koja

ne zavisi od dimenzija kontakta. Za navedeni opseg koncentracija, w_{b0} se kreće od 753 do 39,43nm pri nultoj polarizaciji. Ako je $2R_0 \gg w_{b0}$ (veliki ŠBK), onda je širina barijere na polovini maksimuma ili poluširina barijere (FWHM) nezavisna od veličine kontakta. Suprotno, za $2R_0 \ll w_{b0}$ će $FWHM \rightarrow 2R_0$ [3], odnosno može se zanemariti efekat prostornog naelektrisanja u poluprovodniku na oblik i širinu barijere. Naime, u velikom ŠBK širina barijere w_{b0} je određena koncentracijom slobodnih nosilaca i proporcionalna je Debajevoj dužini $L_D = [\epsilon_s kT / (q^2 N_D)]^{1/2}$, odnosno $w_{b0} = L_D [2\epsilon_s V_s / (kT)]^{1/2}$, gde je $V_s = \phi_b - V_n - V$, $V_n = (kT/q) \ln(N_C / N_D)$, ϕ_b - visina barijere, N_C - efektivna gustina stanja u provodnoj zoni. U gore posmatranom opsegu koncentracija primesa Debajeva dužina ima vrednosti od 130 do 6nm. Za dimenzije ŠBK mnogo manje od debajeve dužine širina barijere je proporcionalan sa dimenzijom kontakta. Ovo se može shvatiti na sledeći način. Naelektrisanje dimenzija $a \ll L_D$ u dielektričnoj sredini daće potencijal $V(r) = V_0 \cdot a / r$. Ovaj kulonov potencijal može biti ekranovan formiranjem sloja prostornog naelektrisanja suprotnog znaka. Medjutim to dodatno ekranovanje može da se zanemari ako je $a \ll w_b$, tj. manje od nekoliko debajevih dužina.

Iz prethodno navedenih podataka se da zaključiti da će za koncentraciju primesa 10^{15}cm^{-3} oblik i širina barijere zavisiti od dimenzija ŠBK već za dimenzije manje od 750nm. Upoređujući w_{b0} i a nalazimo da se karakteristični broj primesa ispod kontakta u oblasti prostornog naelektrisanja, $N_{b0} = (w_{b0} / a)^3$, kreće od 427 do 31 atoma primesa, u srednjem, za navedeni opseg koncentracija.

Navedeni podaci ukazuje na to da će ŠBK dimenzija 30 do 100nm imati oblik i poluširinu barijere zavisne od veličine kontakta. Isto tako, zaključujemo da će poluširina barijere biti veća od 30nm za uzeti opseg dimenzija kontakta i koncentracija primesa. Iz ovoga proizilazi da je učešće tunelovanja u struji kontakta određeno oblikom barijere u gornjoj polovini visine barijere, te da je potrebno uzimati u obzir termojonsku i tunelsku komponentu struje.

Za koncentracije defekata N_t izmedju 10^{13} i 10^{15}cm^{-3} srednje rastojanje izmedju defekata, $a_t = N_t^{-1/3}$, u aproksimaciji ravnomerno raspoređenih biće izmedju 464 i 100nm. Vidi se da je $a_t \geq 2R_0$, odnosno da će uticaj defekata u poluprovodniku na karakteristike ŠBK bitno zavisiti od koncentracije i prostorne statistike defekata.

Jedno važno pitanje povezano sa ŠBK nanometarskih dimenzija odnosi se na pojavu tzv. zakačenog fermijevog nivoa koja se u velikim ŠBK-ima ogleda u nezavisnosti visine barijere od izlaznog rada metala. Još uvek nije u potpunosti shvaćeno da li je ova pojava rezultat nanošenja metalnog sloja (model metalom indukovanih stanja u zabranjenoj zoni – MIGS), ili stvorenih defekata (model sjedinjenih defekata – UDM), ili neuredjenosti medjupovršine (model neuredjenošću indukovanih stanja u

zabranjenoj zoni – DIGS), ili rezultat efektivnog izlaznog rada (EWF model). Tek, pitanje je u kojoj meri taj efekat utiče na karakteristike nanometarskog ŠBK. Sigurno je da prethodno treba shvatiti da li je efekat zakačenog fermijevog nivoa prisutan na površini poluprovodnika nezavisno od toga da li je ona slobodna ili je nanešen metal. Ukoliko je efekat prisutan na slobodnoj površini poluprovodnika, onda će kod nanometarskih ŠBK, u odnosu na velike ŠBK, biti povećana uloga uticaja zakačenog fermijevog nivoa na raspodelu potencijala na krajevima kontakta.

3. NANOMETARSKI ŠBK I ŠUM

Na osnovu analize izložene u prethodnom poglavlju može se za ŠBK dimenzija izmedju 30 i 100nm istaći sledeće: a) oblik i širina barijere zavise od dimenzija kontakta, te uopšteno može biti prisutan termojonski i tunelski transport nosilaca kroz barijeru; b) smanjenjem dimenzija kontakta raste udeo statistike u broju primesnih atoma u oblasti prostornog naelektrisanja (OPN) kontakta; c) prisustvo defekata u OPN značajno zavisi od koncentracije defekata i njihove prostorne statistike; d) pojava zakačenog fermijevog nivoa na površini poluprovodnika oko ŠBK utiče na raspodelu potencijala na krajevima kontakta; d) uniformnost dimenzija ŠBK zavisi u mnogome od tehnologije kojom se realizuje metalni kontakt. Pri formiranju modela šuma za nanometarski ŠBK treba voditi računa o pomenutim činjenicama. Nas posebno interesuje spektar struje šuma samog kontakta, i to niskofrekventnog šuma, imajući u vidu njegovu primenu u šumnoj spektroskopiji.

a) Struja kroz barijeru

Generalno se može napisati jedinstven izraz za struju kroz barijeru koja obuhvata tunelovanje i termojonsku emisiju iz sredine i u sredinu j kao

$$I_{ij} = qA_c \int_k \frac{2d\vec{k}}{(2\pi)^2 \hbar} \cdot \frac{\partial E_i}{\partial k_x} \cdot D_i(\vec{k}) \cdot f_i[E_i(\vec{k})] \cdot (1 - f_j[E_j(\vec{k})]) \quad (1)$$

gde su A_c - površina kontakta, \vec{k} - talasni vektor nosioca, $D(\vec{k})$ - kvantno mehanički koeficijent transmisije definisan kao odnos propuštenog i upadnog fluksa nosilaca na barijeri, $f_{i,j}(E_{i,j})$ - verovatnoća zauzetosti energetskeg nivoa $E_{i,j}$ nosiocem na i i j strani barijere, respektivno. Opštost izraza (1) je u tome što uzima u obzir razlike u efektivnim masama nosilaca na jednoj i drugoj strani, vodi računa o raspoloživosti nosilaca na posmatranom nivou i uključuje tunelsku i termojonsku komponentu struje. Pri prelazu nosioca iz jedne sredine u drugu moraju se ispuniti uslovi konzervacije energije i konzervacije momenta paralelnog medjupovršini. Za struju I_{ji} , prelaz iz sredine j u sredinu i , treba samo da indksi i i j u izrazu (1) zamene medjusobno mesta. Stavljajući za poluprovodnik $i = s$, a za metal $j = m$, ukupna struja će biti $I_{SBK} = I_{sm} - I_{ms} = I_{tum} + I_{th}$. Tunelska komponenta struje I_{tum} obuhvata transport nosilaca kroz barijeru sa energijama manjim od enrgije vrha barijere, uzimajući u obzir efekat sile

lika. Termojonska komponenta struje I_{th} obuhvata transport nosilaca sa energijama iznad vrha barijere.

b) Spektralna gustina struje šuma

Sa stanovišta analize šuma ŠBK se može predstaviti kao redna veza samog kontakta (medjupovršina i OPN) i redne rasprostrete otpornosti $R_s = \rho/2d = \rho/4R_0$, gde su ρ - specifična otpornost poluprovodnika i d - prečnik kontakta. Spektralna gustina struje šuma kratkog spoja $S_{iD}(f)$ biće

$$S_{iD}(f) = \left(\frac{R_d}{R_D}\right)^2 S_{id}(f) + \left(\frac{R_s}{R_D}\right)^2 S_{is}(f), \quad (2)$$

gde su $S_{id}(f)$ - spektralna gustina struje šuma kratkog spoja samog kontakta, $S_{is}(f)$ - spektralna gustina struje šuma redne otpornosti, $R_D = R_d + R_s$ - redna veza dinamičke otpornosti kontakta R_d i redne otpornosti R_s , a koja predstavlja dinamičku otpornost izmedju spoljašnjih krajeva ŠBK. Na osnovu izraza (2) je jasno da će udeo pojedinih sabiraka u ukupnom šumu zavistiti od pojedinih izvora šuma i odnosa dinamičke otpornosti kontakta i redne otpornosti.

c) Sačminski i termički šum

Ako se transport nosilaca kroz barijeru posmatra klasično, tj. zanemarena je korelacija medju nosiocima u toku transporta (male gustine struje), onda sačminski šum je $S_{id} = 2q(I_{SBK} + 2I_{ms})$, a termički je $S_{id} = 4k_B T G_d$, gde su G_d - dinamička provodnost kontakta i k_B - Boltzmann-ova konstanta. U suštini sačminski šum je rezultat dva procesa koji nisu u korelaciji: fluktuacija emisije nosilaca na barijeri i fluktuacija u difuzionom transportu. Pri višim direktnim polarizacijama dolaze do izražaja fluktuacije lokalnog električnog polja koje uzimaju u obzir efekte Kulonove interakcije na fluktuaciju struje i čine da fluktuacije emisije i difuzije nosioca budu u korelaciji. Ovo ima za posledicu tzv. efekat potiskivanja sačminskog šuma pri višim direktnim polarizacijama [9]. U tim uslovima, u oblasti frekvencija iznad 1/f šuma dominira termički šum redne otpornosti.

d) 1/f šum

Pitanje fundamentalnog 1/f šuma u ŠBK nanometarskih dimenzija ostaje isto toliko otvoreno koliko je to i u slučaju velikog ŠBK. U suštini se pokušava dati fizička slika Hoogevog parametra α_H u empirijskoj relaciji za relativni spektar $S_V(f)/V^2 = \alpha_H/(Nf)$ [10], gde je N ukupan broj nosilaca u posmatranoj zapremini. Ističu se dva pristupa: uzrok su fluktuacije rasejanja nosilaca na vibracijama rešetke [11] ili uzrok su kvantne 1/f fluktuacije prouzrokovane kvantnim 1/f efektom u poprečnom preseku rasejanja nosilaca struje [5]. Oba pristupa uključuju rasejanje nosilaca u osnovi izvora fluktuacija. Ograničenje kod ŠBK nanometarskih dimenzija je slučaj prolaska nosilaca kroz barijeru bez rasejanja. To bi važno u slučaju dominantne termojonske emisije, pa bi se tada fundamentalni 1/f šum usled fluktuacija rasejanja na vibracijama rešetke mogao povezati samo sa 1/f fluktuacijama redne otpornosti. Slučaj

1/f šuma u napravama u kojima dominira transport nosilaca bez sudara diskutovan je u [12]. Tada se kvantni 1/f šum može povezati sa Bremsstrahlung zračenjem u procesu ubrzanja nosilaca.

Nefundamentalni 1/f šum može biti uslovljen fluktuacijama fiksnog naelektrisanja u oblasti prostornog naelektrisanja ili u medjupovršinskoj oblasti kontakta. Ove fluktuacije su uzrok fluktuacijama visine barijere koje dovode do fluktuacija struje kroz ŠBK. Uzrok fluktuacija naelektrisanja u OPN su fluktuacije zahvata nosilaca na defektima koncentracije N_t ($eV^{-1}cm^{-3}$), a uzrok fluktuacija naelektrisanja na medjupovršinskim stanjima su zahvat i slučajno lateralno kretanje naelektrisanja na površinskim stanjima površinske koncentracije D_{is} ($eV^{-1}cm^{-2}$). Prema [13], odnos spektralnih gustina struje 1/f šuma usled medjupovršinskih stanja i defekata u OPN se može prikazati u obliku:

$$\frac{S_{ii}(f)}{S_{it}(f)} = K_p \frac{D_{is}}{N_t w_b}, \quad (3)$$

gde je w_b - širina OPN, a konstanta proporcionalnosti K_p zavisi od napona polarizacije. Kako je za nanometarski ŠBK $w_b \leq w_{b0}$, to će za konstantne D_{is} i N_t biti veći udeo šuma povezanog sa medjupovršinskim stanjima u nanometarskim u odnosu na velike ŠBK.

1/f šum redne otpornosti kontakta, kao rasprostrete otpornosti, je direktno proporcionalan sa kvadratom struje, a obrnuto proporcionalan sa kubom poluprečnika kontakta [13]. To ima za posledicu porast šuma redne otpornosti sa samnjenjem dimenzija nanometarskog ŠBK. S obzirom na izraz (2), u slučaju da su spektri 1/f šuma kontaktne oblasti i redne otpornosti proporcionalni sa kvadratom struje, onda se iz strujne zavisnosti spektra struje šuma teško mogu razlikovati pojedinačni udeo ovih šumova. Ali, koristeći spektar napona šuma umesto spektra struje šuma,

$$S_{vD}(f) = R_d^2 S_{id}(f) + R_s^2 S_{is}(f), \quad (4)$$

može se primetiti sledeće. S obzirom da je dinamička otpornost kontakta obrnuto proporcionalana sa strujom, onda će spektar napona šuma biti proporcionalan sa kvadratom struje ukoliko je dominantan 1/f šum redne otpornosti. Obrnuto, ako je dominantan 1/f šum kontaktne oblasti, spektar napona šuma će biti konstantan (ili opadati) sa promenom struje.

e) Šumovi sa lorencovim spektrom

Ovi šumovi su rezultat fluktuacija zahvata i otpuštanja nosilaca defektima (g-r centrima i klopama), a karakteristični su po spektralnoj gustini oblika

$$S_{iD}(f) = \frac{C \tau_t}{1 + \omega^2 \tau_t^2}, \quad (5)$$

gde je τ_t karakteristični vremenski parametar procesa, povezan sa karakterističnom frekvencijom spektra $f_c = 1/(2\pi\tau_t)$. Konstanta proporcionalnosti C zavisi od struje i koncentracije defekata. Dve vrste ovog šuma bitno se razlikuju po raspodeli amplituda. Prvi, g-r šum ima gausovu raspodelu amplituda, a drugi, RTS (ili RTN) šum ima dvonivojsku raspodelu amplituda. G-R šum je rezultat fluktuacija generacije i rekombinacije nosilaca preko g-r

centara sa energetskim nivoima oko fermijevog nivoa (unutar $\pm k_B T$) – duboki centri, za razliku od onih defekata povezanih sa $1/f$ šumom koji su energaetski i/ili prostorno raspodeljeni. RTN šum je povezan na fluktuacijama zahvata i otpuštanja nosilaca na pojedinačnim klopama. Sa smanjenjem dimenzija nanometarskog ŠBK broj zapreminskih defekata u oblasti kontakta se smanjuje i podleže prostornoj statistici tako da raste verovatnoća da šum sa lorencovim spektrom bude RTN šum.

4. ŠUMNA SPEKTROKOPIJA ŠBK

Pokazalo se da je šum moćno sredstvo za studiju elektronskih naprava [14], tako da se na toj osnovi razvija šumna spektroskopija kao komplementarna drugim metodama dijagnostike u mikroelektronici, a primenjena i u slučaju velikih ŠBK [2], [13]. Na osnovu razmatranja u prethodnom poglavlju, pojava nefundamentalnih šumova u nanometarskim ŠBK predstavlja osnovu za primenu metoda šumne spektroskopije u studiji nano kontakta. U osnovi se postavljaju dva pitanja: utvrđivanje mesta izvora šuma (medjupovršina, OPN, oblast redne otpornosti) i dijagnostika izvora šuma.

S obzirom da dinamička otpornost, za razliku od redne otpornosti, zavisi od struje (opada sa porastom struje), to se iz strujne zavisnosti spektra napona $1/f$ šuma može oceniti koja od dve oblasti, kontakt ili redna otpornost, više doprinose šumu. Ovo je diskutovano u vezi sa relacijom (4).

Nefundamentalni $1/f$ šum može imati oblik $1/f^\gamma$ sa $\gamma \neq 1$. Njegova pojava je povezana sa termički aktivacionim procesima na defektima sa eksponencijalnom energetskom raspodelom $N_i = N_{i0} \exp((E_i - E_c)/E_0)$. Tada se može uspostaviti veza $\gamma = 1 - (k_B T/E_0)$ [13], tako da se iz vrednosti γ može odrediti karakterističan parametar raspodele E_0 . Vidi se da $E_0 \rightarrow \infty$ daje $\gamma = 1$, odnosno slučaj ravnomerne raspodele defekata, odnosno medjupovršinskih stanja.

Prvi odgovor na pitanje prirode izvora šuma sa lorencovim spektrom daće analiza raspodele amplitude šuma. Na osnovu nje zaključuje se da li je g-r ili RTN šum. Iz spektra šuma određuje se karakteristična frekvencija, odnosno vremenski parametar fluktuacionog procesa. Drugim rečima, merenjem šuma nanometarskog ŠBK mogu se dobiti korisne informacije o stanju kontakta.

5. ZAKLJUČAK

Sa smanjenjem dimenzija ŠBK dolazi se u oblast kada dimenzije kontakta postaju uporedljive ili manje od karakterističnih fizičkih dužina. U oblasti dimenzija kontakta od 30 do 100nm dolaze do izražaja efekti zavisnosti širine barijere od dimenzija kontakta, tako da se oni odražavaju i na šum usled prostorne statistike defekata i redne (rasprostrete) otpornosti. Medjusobni odnos sačminskog i termičkog šuma zavisi od napona polarizacije, odnosno gustine struje. Fundamentalni $1/f$ šum u oblasti kontakta mora biti povezan sa izvorima koji su prisutni i u uslovima transporta nosilaca kroz barijeru sa bitno redukovanim brojem sudara. Nefundamentalni $1/f$ šum je pre povezan sa medjupovršinskim stanjima nego sa defektima u OPN. Zbog

redukcije broja defekata u OPN, realno se može očekivati da RTN bude dominantni šum sa lorencovim spektrom.

Zahvalnica – Ovaj rad je delimično finansiralo Ministarstvo za nauku i životnu sredinu Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] R.T. Tung, "Electron transport at metal-semiconductor interfaces: general theory", *Phys.Rev.B*, Vol.45, pp.13509-13523, 1992.
- [2] M.M. Jevtić, J.M.Hadži-Vuković, "Dijagnostika Šotkijevog barijernog kontakta pomoću merenja niskofrekventnog šuma", *Zbornik rad.XLIX konf.ETAN*, Sv.IV, Budva, 5.-10. juna 2005.
- [3] G.D.J.Smit, S.Rogge, T.M.Klapwijk, "Scaling of nano-Schottky-diodes", *arXiv:cond-mat/0202401*, v2, pp.1-4, 2002.
- [4] G.D.J.Smit, S.Rogge, T.M.Klapwijk, "Enhanced tunneling across nanometer-scale metal-semiconductor interface", *Appl.Phys.Lett.*, Vol.14, pp.2568-2570, 2002.
- [5] P.H.Handel, "Quantum $1/f$ proximity effect in nanotechnology", www foresight.org/Conferences/MNT8, pp.1-12, 2002.
- [6] X.Oriolis, F.Martin, J.Sune, "Approach to study the noise properties in nanoscale electronic devices", *Appl. Phys.Lett.*, Vol.79, pp.1703-1705, 2001.
- [7] X.Oriolis, "Quantum mechanical effects on noise properties of nanoelectronic devices: Application to Monte Carlo simulation", *IEEE Trans.Electr.Dev.*, Vol.50, pp.1830-1836, 2003.
- [8] B.K.Jones, "Noise limitation to the size of integrated circuit transistors", *Proc 15th Int.Conf.Phys.Syst and 1/f Fluct.*, Ed.:C.Surya, ICNF'99, 23-26 August 1999, Hong Kong, pp.13-17, 1999.
- [9] G.Gomila, L.Reggiani, J.M.Rubi, "Shot-noise suppression in Schottky barrier diodes", *J.Appl.Phys.*, Vol.88(5), pp.3079-3081.
- [10] F.N.Hooge, " $1/f$ noise is no surface effect", *Phzs.Lett.*, Vol.29A(3), pp.139-140.
- [11] F.H.Hooge, L.K.J.Vandamme, "Lattice scattering causes $1/f$ noise", *Phys.Lett.*, Vol.66A(4), pp.315-316, 1978.
- [12] A.van der Ziel, "Unified presentation of $1/f$ noise in electronic devices: fundamental $1/f$ noise sources", *Proc.IEEE*, Vol.76(3), pp.233-258, 1988.
- [13] J.I.Lee, I.K.Han, D.C.Brini, A.Chovet, C.A.Dimitriadis, J.C.Jeong, "Low frequency noise spectroscopy for Schottky contacts", *J.Kor.Phys.Soc.*, Vol.37(6), pp.966-970, 2000.
- [14] M.M.Jevtić, "Noise as a diagnostic and prediction tool in reliability physics", *Microel.Reliab.*, Vol.35(3), pp.455-477, 1995.

Abstract – In this paper the noise of Schottky barrier contacts with dimension between 30 and 100nm are analyzed. The noise sources and the methods of their recognition are discussed also.

NOISE OF NANOSCALED SCHOTTKY CONTACT

Milan M. Jevtić, Jovan M. Hadži-Vuković