

Osobine nanoskopskih optičkih materijala

Jovan P. Šetrajčić, Igor J. Šetrajčić

Univerzitet u Novom Sadu, Prirodno-matematički
fakultet, Departman za fiziku,
Novi Sad, Vojvodina – Srbija

jovan.setrajcic@df.uns.ac.rs, igor.setrajcic@df.uns.ac.rs

Ana J. Šetrajčić – Tomić

Univerzitet u Novom Sadu, Medicinski fakultet,
Departman za farmaciju,
Novi Sad, Vojvodina – Srbija

setrajcic.a@gmail.com

Siniša M. Vučenović

Univerzitet u Banjoj Luci, Prirodno-matematički fakultet,
Odsjek za fiziku,

Banja Luka, Republika Srpska – BiH

vucenovic.s@gmail.com

Danijela Vuković

Univerzitet u Banjoj Luci, Elektrotehnički fakultet,
Katedra za fiziku,

Banja Luka, Republika Srpska – BiH

danijela@etfbl.net

Sažetak – U radu su predstavljeni rezultati teorijskih istraživanja kvantno-dimenzionih i konformacionih promena fundamentalnih osobina nanofilm molekularnih kristala usled postojanja dveju graničnih površina, koji imaju znatne reperkusije na transportna svojstva fotona kao nosilaca informacija. Prilagođenim metodom eksitonskih Grinovih funkcija i analitičko-numeričkim proračunom određena je dinamička permitivnost, a preko nje indeksi apsorpcije i prelamanja za ceo nanouzorak.

Ključne riječi – fotonski transport; eksitoni; optičke osobine; nanostrukture

I. UVOD

Nanotehnologije predstavljaju oblast nauke i tehnologije u kojoj figurišu materijali sa dimenzijama i tolerancijama u intervalima reda 0.1 – 100 nanometra. Postoji mnogo obećanja od strane nanotehnologije. Smatra se da će nanotehnologije imati presudnu ulogu u smanjenju zavisnosti čovjeka od fosilnih izvora energije, a posredno i u smanjenju emisije stakleničkih gasova. U oblasti proizvodnje Si-mikroprocesora nanotehnologije su već prisutne, ali se javljaju problemi prilikom izrade sve gušćeg pakovanja tranzistora u procesoru, prvenstveno vezanih za struju curenja i preveliko zagrijavanje. Alternativa ima nekoliko, među kojima su preložene nove arhitekture u izradi Si-mikroprocesora ili prelazak na optičke računare. Optički računari predstavljaju poseban izazov, jer postoji ispunjiv zahtjev za identičnim prekidačkim kolima i implementacijom Bulove algebre kao kod elektronskih računara. Razlika je što bi svu logiku sada „nosila“ svetlost, tj. fotoni bi „zamenili“ elektrone. Pri ovim procesima javlja se potreba da se svetlost moduliše, pojača ili apsorbuje. U osnovi svih procesa je da svetlost u opštem slučaju interaguje sa materijom i daje za rezultat svetlost drugačijih osobina. Ova interakcija se manifestuje na razne načine, ali nas prvenstveno interesuje slučaj kada svetlost proizvodi eksitone, kvazičestice elementarnih pobuđenja materije [1–3]. Posebno nas pri tome interesuje na koji način se ponaša interakcija svetlosti sa molekularnim kristalnim nanomaterijalima, u kojima se takođe generišu eksitoni, ali značajno drugačijih osobina od istih kristala, ali velikih dimenzija.

Eksitoni su kvazičestice koje se sastoje od elektrostatički povezanog para elektron-šupljina, kojeg kreira foton svetlosti koji pada na uzorak [4]. Eksitoni nose prefiks „kvazi“ jer oni egzistiraju samo unutar materijala, tj. ne mogu postojati izvan njega. Eksitoni su električno neutralni, pa ne mogu prenositi električnu struju, ali mogu prenositi energiju. Ako naprimjer osvjetlimo neki materijal svjetlošću, energiju fotona će preuzeti elektron koji će pri tome napustiti svoje mjesto kreirajući šupljinu (prazno mjesto koje je elektron napustio). Nastaje vezani par elektron-šupljina koji se može kao takav kretati kroz kristal. Međutim, na sobnim temperaturama eksitoni imaju veoma kratko vrijeme života, jer će toplotne oscilacije kristalne rešetke dovesti do veoma brze rekombinacije elektrona sa šupljinama, pri čemu se ponovo emituje svjetlost. Postavlja se pitanje kako produžiti vrijeme života eksitona? Jedan od načina je smanjenje temperature, pri čemu će oscilovanje kristalne rešetke biti manje, a samim tim će se smanjiti i stepen rekombinacije. Međutim, račun pokazuje da bi u ovom slučaju morali prilično značajno smanjiti temperaturu. Drugi način da spriječimo raspad eksitonskog stanja je da ostvarimo kvantne uslove za rezonantno preklapanje talasnih funkcija elektrona i šupljina, što se dešava kvantnim objektima i veoma ograničenom prostoru, upravo česticama u nanomaterijalima.

Razlikuju se dve vrste eksitona koji se javljaju u poluprovodnicima i dielektricima. U poluprovodnicima su eksitoni velikog radijusa i nazivaju se Vanije-Motovi eksitoni, dok su u dielektricima eksitoni lokalizovani i malog radijusa, a nazivaju se Frenkelovi eksitoni. Interesantan je slučaj u prošloj godini kada su istraživači sa Univerziteta u Pittsburghu otkrili da se eksitoni javljaju čak i u metalima, ali samo u površinskim slojevima. Ova činjenica doprinosi hipotezi da su površinska eksitonska stanja primarna u razumijevanju dužine života eksitona. Možda je upravo to odgovor na specifična i interesantna svojstva eksitonskih sistema u nanomaterijalima, jer su upravo nanomaterijali takvi da je kod njih odnos površine koju nanomaterijal ima i zapremine koju zauzima enormno velik, ako uporedimo nanomaterijale sa balkom. Možemo slobodno tvrditi da sve što se u nanomaterijalima dešava – dešava se na njegovoj površini ili površinskom sloju, jer je nanomaterijal *de facto* – površinski materijal!

U našem dosadašnjem istraživačkom radu [5,6] akcentat je bio dat na teorijsko istraživanje eksitona Frenkelovog tipa u kristalima alkalnih halida i molekulskim kristalima tipa antracena. Istraživanje nije uključilo eksperiment, jer ne posedujemo kvalitetnu i savremenu opremu. Modelovane su strukture ultra-tankih filmova, koje imaju dimezione osobine takve da su filmovi smatrani praktično beskonačnima duž dva kristalografska pravca, dok je duž trećeg ova struktura debljine do 10-ak atomskih slojeva. Za ove strukture je izračunat spektar mogućih energija, tj. energije koje eksitoni mogu da imaju unutar filma.

Pomoću eksitonskog zakona disperzije i njihove gustine stanja, teorijski se definiše relativna permitivnost, a preko nje i optičke osobine posmatranog sistema. Već pre smo utvrdili da ove veličine zavise od prostornog rasporeda duž pravca koji spaja granične površi, i da na njihovu frekventnu zavisnost utiču granični parametri. U ovom radu smo posmatrali iste veličine, ali kao karakteristike celog filma, ne posebno po kristalografskim ravnima filma. Ovaj proračun je direktno povezan sa optičkim inženjeringom u okviru koga se, manipulacijom graničnim parametrima nanostrukture, može direktno uticati na odabir i promenu fizičkih karakteristika materijala, u ovom slučaju, može se uticati na pojavu mono ili bi-transarencije, ivečane refleksije, i sl. kod uzoraka koji su u makroskopskom obliku – samo totalni apsorberi!

II. EKSITONSKI FILM-MODEL

Da ne bismo ponavljali kompletnu proceduru teorijskih proračuna, koja je izložena u našim prethodnim radovima [5,6], ovde ćemo navesti samo karakteristične etape. Standardni izraz za efektivni eksitonski hamiltonijan u harmonijskoj aproksimaciji [7] ima oblik:

$$H = \sum_{\vec{n}} \Delta_{\vec{n}} B_{\vec{n}}^+ B_{\vec{n}} + \sum_{\vec{n}, \vec{m}} X_{\vec{n}\vec{m}} B_{\vec{n}}^+ B_{\vec{m}}, \quad (1)$$

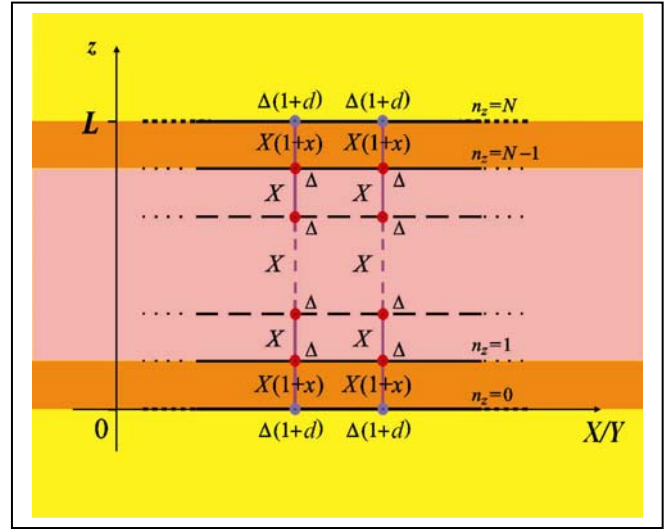
gde su $B_{\vec{n}}^+$ i $B_{\vec{n}}$ kreacioni i anihilacioni operatori eksitona na čvoru \vec{n} kristalne rešetke, $\Delta_{\vec{n}}$ je energija izolovanog eksitona na tom čvoru, a $X_{\vec{n}\vec{m}}$ su matricni elementi eksitonskog transfera sa čvora \vec{n} na čvor \vec{m} .

Sistemi ograničeni dvema paralelnim površima nazivaju se filmovi [5,7]. Dimenzije kristalnog nano-filma su takve da je u XY neograničen, dok u z -pravcu ima konačnu – veoma malu debljinu $L = Na$, pri čemu su: $N < 10$ – broj paralelnih kristalografskih ravni (uključujući i 2 granične), a a je konstanta kristalografske rešetke.

Posmatraćemo simetričan dielektrični nano-film (slika 1), koji se praktično može napraviti kontrolisanim dopiranjem masivnih uzoraka. Zbog postojanja graničnih površi energije eksitona na čvorovima i transferi energije između graničnih ($n_z = 0$; $n_z = N$) i njima prvih susednih ravni ($n_z = 1$; $n_z = N-1$) bivaju perturbovani, što možemo prikazati na sledeći način [5,6]:

$$\begin{aligned} \Delta_{\vec{n}} &\equiv \Delta \left[1 + d(\delta_{n_z,0} + \delta_{n_z,N}) \right]; \\ X_{\vec{n}, \vec{n}+\vec{\lambda}} &\equiv X \left[1 + x(\delta_{n_z,0} + \delta_{n_z,N-1}) \right]; \\ X_{\vec{n}, \vec{n}-\vec{\lambda}} &\equiv X \left[1 + x(\delta_{n_z,1} + \delta_{n_z,N}) \right], \end{aligned} \quad (2)$$

gde parametar d definiše perturbaciju na čvoru graničnih površi, a parametar x perturbaciju transfera u graničnim slojevima duž z -pravca.



Slika 1. Model simetričnog ultratankog dielektričnog filma

Mikroteorijsku analizu eksitonskog podsistema u ultratankim kristalnim molekulskim filmovima sprovedemo metodom Grinovih funkcija. Posmatraćemo sledeću Grinovu funkciju [5,7]: $G_{\vec{n}\vec{m}}(t) = \langle \langle B_{\vec{n}}(t) B_{\vec{m}}^+(0) \rangle \rangle$, koja zadovoljava sledeću jednačinu kretanja:

$$i\hbar \frac{d}{dt} G_{\vec{n}\vec{m}}(t) = i\hbar \delta(t) \delta_{\vec{n}\vec{m}} + \Delta_{\vec{n}} G_{\vec{n}\vec{m}}(t) + \sum_{\vec{l}} X_{\vec{n}\vec{l}} G_{\vec{l}\vec{m}}(t) \quad (3)$$

Nakon potpune vremenske, ali sada i samo delimične prostorne Furije-transformacije ovih jednačina, dobijamo:

$$\begin{aligned} G_{n_z, m_z} \left[\rho - \frac{\Delta}{|X|} d(\delta_{n_z,0} + \delta_{n_z,N}) \right] + \\ + G_{n_z+1, m_z} \left[1 + x(\delta_{n_z,0} + \delta_{n_z,N-1}) \right] + \\ + G_{n_z+1, m_z} \left[1 + x(\delta_{n_z,1} + \delta_{n_z,N}) \right] = \frac{i\hbar}{2\pi |X|} \delta_{n_z, m_z}, \end{aligned} \quad (4)$$

gde je uvedena oznaka: $\rho = \frac{\hbar\omega - \Delta}{|X|} + 2(\cos ak_x + \cos ak_y)$.

Jednačina (4) predstavlja sistem od $N + 1$ nehomogenih algebarsko-diferencnih jednačina za Grinove funkcije. Kako su nam za nalaženje zakona disperzije potrebni samo polovi ovih funkcija, dovoljno je naći determinantu sistema i istu izjednačiti sa nulom. Na ovaj način dobijamo $N + 1$ rešenje $\rho \equiv; \nu = 1, 2, 3, \dots, N + 1$.

III. PERMITIVNOST FILMA

Za nalaženje verovatnoća pojave i prostorne raspodele eksitonskih stanja u filmu potrebno je izračunati spektralne težine pojedinih Grinovih funkcija. Polazi se od sistema jednačina za Grinove funkcije (4), ali napisanih u matricnom obliku

$$\hat{D}_{N+1} \tilde{G}_{N+1} = \hat{K}_{N+1}, \quad (5)$$

gde je \hat{D}_{N+1} matrica koja odgovara determinanti sistema, a \tilde{G}_{N+1} i \hat{K}_{N+1} su vektori Grinovih funkcija i Kronekerovih delti, respektivno. Ako u (5) delujemo inverznom matricom \hat{D}_{N+1}^{-1} sa levo i znajući da se inverzna matrica može izraziti preko adjungovane, čiji su članovi D_{ik} kofaktori elementa d_{ik} direktne matrice, daljim računom možemo dobiti Grinove funkcije, u čijim brojiocima direktno figurišu spektralne težine $g_{n_z}(\rho_v)$, tj. verovatnoće nalaženja eksitonskih stanja ρ_v [5,6]:

$$G_{n_z} = -\frac{i\hbar}{2\pi|X|} \sum_{v=1}^{N+1} \frac{g_{n_z}(\rho_v)}{\rho - \rho_v}. \quad (6)$$

Pri određivanju dinamičke permitivnosti filma koristićemo opšti izraz [8,9], samo strogo vodeći računa da Grinove funkcije, pa i permitivnost zavise od (broja, tj. položaja) kristalografskih ravni simetričnog filma n_z :

$$\varepsilon_{n_z}^{-1}(\omega) = 1 - 2\pi F \left[G_{n_z}(\omega) + G_{n_z}(-\omega) \right], \quad (7)$$

gde je F – strukturni faktor [4,5]. Uvrštavanjem izraza za Grinove funkcije (6) dobija se:

$$\varepsilon_{n_z}^{-1}(\omega) = 1 - \frac{\hbar F}{|X|} \sum_{v=1}^{N+1} \sum_{s=+,-} \frac{g_{n_z}^v}{\rho_s - \rho_v}, \quad (8)$$

gde je: $\rho_{\pm} = \frac{\mp \hbar \omega - \Delta}{|X|} + 2(\cos ak_x + \cos ak_y)$.

Ovaj izraz predstavlja zavisnost relativne dinamičke permitivnosti od frekvencije inicijalnog elektromagnetnog pobuđenja, tj. dielektrični odziv posmatranog simetričnog molekuskog filma na spoljašnje elektromagnetno polje.

IV. APSORPCIJA U FILMU

Dielektrična propustljivost, tj. permitivnost u slučaju postojanja disperzije je kompleksna veličina (pod frekventnom disperzijom dielektrične propustljivosti $\varepsilon(\omega)$ podrazumeva se njena zavisnost od frekvencije ω), odnosno može da se izrazi preko realnog i imaginarnog dela:

$$\varepsilon(\omega) = \varepsilon'(\omega) + i\varepsilon''(\omega).$$

Jednostavnim relacijama ε' i ε'' su povezani su sa optičkim karakteristikama sredine: indeksom prelamanja i koeficijentom apsorpcije (Kramers-Kronigove relacije).

Još je Maksvel je pokazao da je dielektrična konstanta sredine jednaka kvadratu indeksa prelamanja: $\varepsilon(\omega) \equiv \eta^2(\omega)$. Ako se uvede kompleksni indeks prelamanja: $\eta = n + i\kappa$, lako se dobijaju izrazi za dinamičke indekse apsorpcije i prelamanja u formi:

$$\kappa_{n_z}(\omega) = \sqrt{\frac{\varepsilon_{n_z}'(\omega)}{2} \left\{ \sqrt{1 + \left[\frac{\varepsilon_{n_z}''(\omega)}{\varepsilon_{n_z}'(\omega)} \right]^2} - 1 \right\}}. \quad (9)$$

$$n_{n_z}(\omega) = \sqrt{\frac{\varepsilon_{n_z}'(\omega)}{2} \left\{ \sqrt{1 + \left[\frac{\varepsilon_{n_z}''(\omega)}{\varepsilon_{n_z}'(\omega)} \right]^2} + 1 \right\}}. \quad (10)$$

U našim prethodnim radovima [10,11] izveštavali smo o zavisnosti relativne dinamičke permitivnosti, te indeksa apsorpcije od redukovane energije spoljašnjeg elektromagnetnog zračenja za simetrično perturbovani četvoroslojni film. Jedan od glavnih rezultata je bio da ove fizičke veličine zavise od položaja kristalografske ravni paralelane graničnim površima. Zbog toga su na svim graficima bile prikazane ove zavisnosti posebno za spoljašnje (granične) površi (levi grafici sa: $n_z = 0$ i 4), prve unutrašnje površi (grafici u sredini sa: $n_z = 1$ i 3) i središnju kristalografsku ravan površi (desni grafici sa: $n_z = 2$). Uočljiva je bila pojava rezonantnih pikova, čiji broj i raspored veoma zavisi od vrednosti graničnih perturbacionih parametara, ali je najveći utical bio na graničnim ravnima, odnosno u graničnim slojevima filma.

Vođeni mogućem eksperimentalnom merenju (kao npr. kod [12]) i shvatajući da to može biti sprovedeno samo za ceo uzorak i to duž pravca najmanje debljine, definisali smo dinamičku permitivnost, indeks apsorpcije (ili ekstinkciju) i indeks prelamanja za ceo posmatrani film na sledeći način:

$$\varepsilon_f(\omega) \equiv \sum_{n_z} \varepsilon_{n_z}(\omega); \quad \kappa_f(\omega) \equiv \sum_{n_z} \kappa_{n_z}(\omega);$$

$$n_f(\omega) \equiv N \left[\sum_{n_z} n_{n_z}^{-1}(\omega) \right]^{-1}. \quad (11)$$

Na slikama 2 i 3 prikazane su zavisnosti relativnih dinamičkih permitivnosti, indeksa apsorpcije i indeksa prelamanja od redukovane energije spoljašnjeg elektromagnetnog zračenja za svaki sloj filma posebno i za ceo četvoroslojni film.

Već na prvi pogled je uočljiva pojava rezonantnih pikova, čiji je diskretan broj jednak broju mogućih eksitonskih stanja, u ovom slučaju jednak broju kristalografskih ravni duž pravca normalnog na granične površi filma. Isto tako, vidi se da su neki (središnji) pikovi praktično spojeni u mali i diskretnu podzonu, tako da čine širi (nerezonantni!). Veoma lako je uočiti da je interval promena odgovarajućih veličina u filmu znatno (tj. više nego dva puta) veći od širine odgovarajuće balkovske zone. Ovo su sve posledice poznatog kvantno-dimenzionog efekta (pojave diskretnih kvantnih efekata kod promena fizičkih veličina kada dođe do smanjenja dimenzija uzorka do ~ 10 nm).

To znači da je apsorpcija diskretnija i da postoje prioritete frekvencije spoljašnjeg elektromagnetnog zračenja koje se apsorbuju u potpunosti. Kod ostalih, apsorpcija je samo delimična. Uočljivo je da se na graničnim površima ovog filma može javiti praktično samo jedna – vrlo uska apsorpciona zona.

V. ZAKLJUČAK

Pri izračunavanju optičkih osobina ultra-tankih filmova korišteni su izrazi Djaložinskog i Pitajevskog, kojima se može izraziti dinamička dielektrična permitivnost preko dobijenih Grinovih funkcija. Kako je dielektrična permitivnost vezana sa indeksom prelamanja, te koeficijentima apsorpcije, refleksije i transparentije, zaključuje se da se poznavanjem dielektrične permitivnosti posredno mogu definisati i ove optičke osobine ultra-tankih filmova. U dosadašnjim rezultatima izračunata je zavisnost dielektrične permitivnosti od frekvencije spoljašnjeg

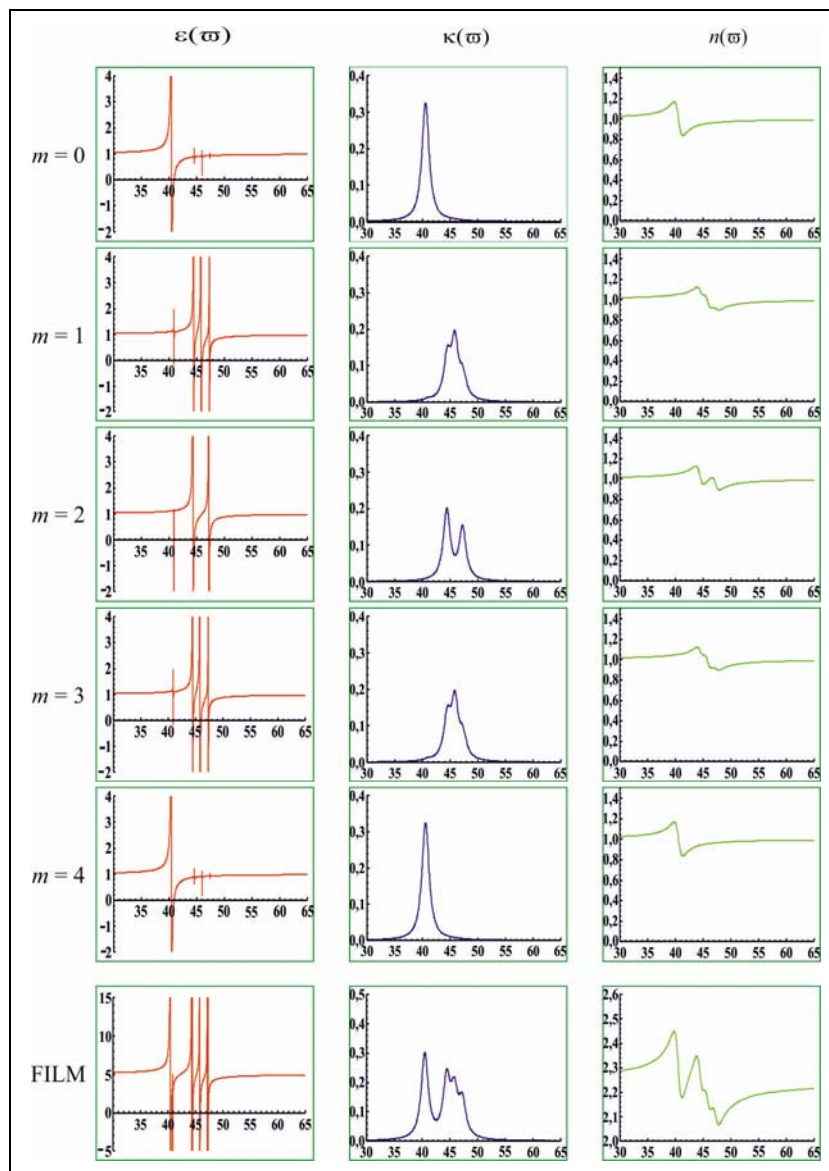
elektromagnetnog polja, koja je pokazala izrazito diskretni optički spektar.

Opet je broj rezonantnih pikova koji se javljaju u ovom spektru bio jednak broju mogućih energija eksitona, tj. broju slojeva koji grade ultra-tanki film. Uticaj graničnih uslova, tj. graničnih slojeva između materijala filma i okruženja (supstrat ili vazduh/vakuom) pokazao je još interesantnije rezultate – neki rezonantni pikovi su nestali, tj. bili ugašeni, a oni koji odgovaraju površinski lokalizovanim eksitoniskim stanjima su bili značajno pojačani i upravo ovi rezonantni pikovi su nosili glavnu optičkog odziva filma na spoljašnje elektromagnetno polje. Pod određenim graničnim uslovima, kojeg bi definisala interakcija površinskog sloja filma sa substratom (ili vazduhom/vakuomom) ovaj model predviđa da bi film predstavljao diskretni apsorpcioni filter, tj. film bi bio u stanju da od širokog spektra elektromagnetnog zračenja apsorbira

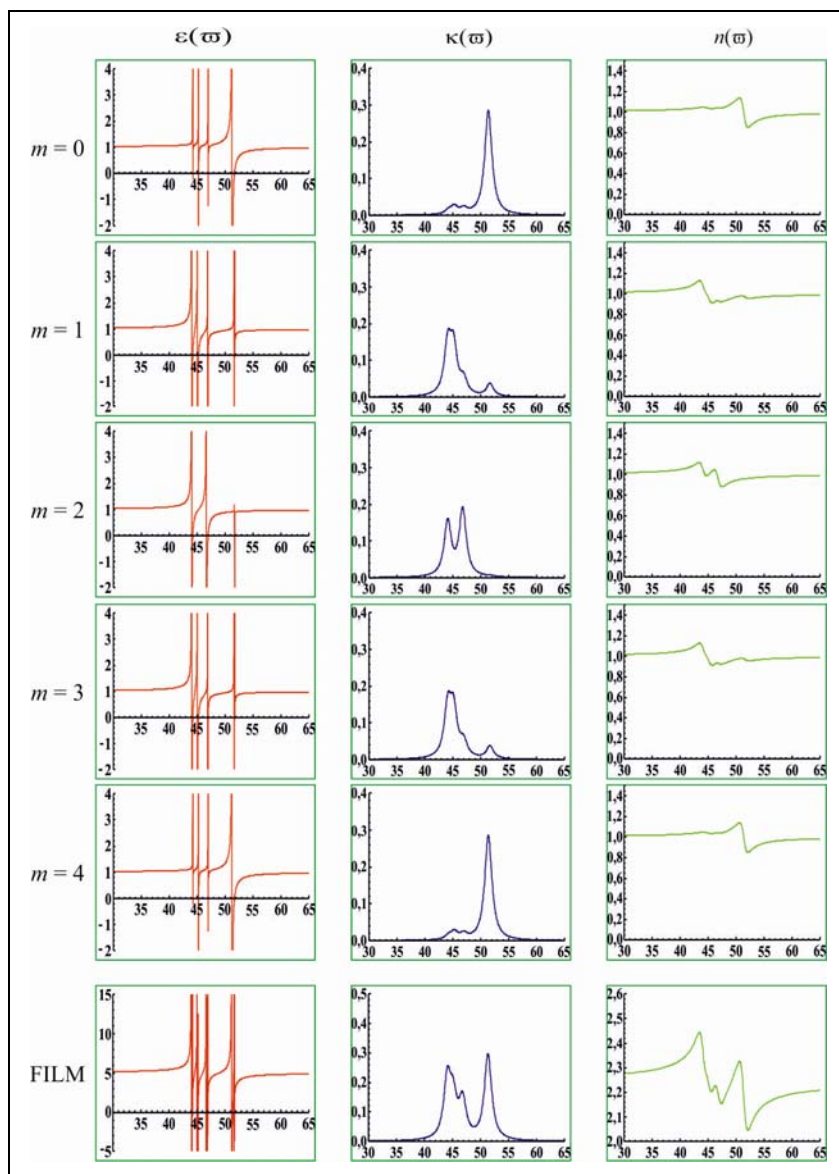
samo određenu diskretnu frekvenciju. Ova diskretna frekvencija jako zavisi od površinskih uslova, predstavljenih kroz perturbacione parametre, što znači da se ona može kontrolisati promjenom spoljašnjih uslova. Ova činjenica ide u prilog ideji da se ovakva vrsta nanostruktura može koristiti kao monohromatski asporber, koji bi mogao imati svoju ulogu u dizajnu optičkih procesora.

Posmatranjem molekulskog filma na slikama primetna je simetrija po slojevima i to tako da su permitivnost, indeks apsorpcije i indeks prelamanja jednaki za $m = 0$ i 4, te za $m = 1$ i 3, dok su za središnji $m = 2$ drugačiji.

U I koloni je data zavisnost permitivnosti, a u II i III koloni su date zavisnosti indeksa apsorpcije i indeksa prelamanja od redukovane frekvencije spoljašnjeg elektromagnetnog polja za četvoroslojni dielektrični film, kada se parametar Δ menja perturbacijom d_0 (ili d_N).



Slika 2. Permitivnost, ekstinkcija i indeks prelamanja nanofilma sa "slabijim" granicama: $d = -0.1$; $x = -0.5$



Slika 3. Permitivnost, ekstinkcija i indeks prelamanja nanofilma sa "jačim" granicama: $d = +0.1$; $x = +1.0$

Na slikama 2 i 3 može se videti da broj rezonantnih pikova u slučaju kada $(\varepsilon(\omega_r) \rightarrow \pm \infty)$ zavisi od broja, odnosno položaja atomske ravni n_z za koji se računa permitivnost, ali i od vrednosti parametra $d_{0/N}$. Povećanjem tog parametra dolazi do širenja zone apsorpcije, a dominantan rezonantni pik se uočava samo na graničnoj površi filma ($n_z = 0$ ili $n_z \equiv N = 4$). To je i očekivan rezultat, jer se iz analize spektara i spektralnih težina eksitonskih stanja vidi da je verovatnoća nalaženja eksitona u lokalizovanom stanju, najveća baš na tom mestu.

Sa svih prikazanih grafika vidi se da se pitomo povećanje indeksa prelamanja ruši na mestima promene apsorpcionih svojstava (indeksa apsorpcije). Tamo gde indeks apsorpcije raste – indeks prelamanja opada, tamo gde se indeks apsorpcije menja naglije (raste, opada) nalaze se pikovi (singulariteti) indeksa prelamanja. Ovo je u skladu sa predviđanjem Kramerove teorije, samo što se tamo ti efekti javljaju na

početku i na kraju apsorpcione zone, a ovde su oni diskretni i ne opisuju širu kontinualnu zonu, već kvantnu i veoma selektivnu uskozonsku promenu.

Mora se istaći, da granične površi i granični slojevi filma „ne dozvoljavaju“ eksitonima da napuste nanouzorak, odnosno imaju ulogu svojevrsnog totalnog ogledala. Ovaj efekat, u kombinaciji sa skin-efektom i nesrazmerno velikom površinom nano-uzoraka, ukazuju na velike moguće primene ovakvih nanostrukture u elektronskoj industriji, posebno u opremi za informacione tehnologije. Ovde je evidentno i mora se istaći da istraživanja elektromagnetna oblast odgovara srednjoj IC oblasti, jer to „diktiraju“ molekulske strukture tipa antracena, ali da su istraživanja savremenijih materijala, npr. TiO_2 ili PTCDA [13–15], pomerila tu oblast ka plavoj i bliskoj UV oblasti, gde su pripadajući fotoni mnogo podesniji.

ZAHVALNICA

Ovaj rad su delimično finansirala: Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije (projekti ON171039 i TR34019), Sekretarijat za nauku i tehnološki razvoj APV (projekt 114-451-927), kao i Ministarstvo nauke i tehnologije Republike Srpske (projekt 19/6-020/961-16/15).

LITERATURA

- [1] K. Wood, P. Hammond, D. Schmidt, S. Wrightman, and B. Andaya, „Thin Film Delivers Drugs“, *Biophotonics*, Cambridge, 12.02.2008; (<http://www.photonics.com>)
- [2] M.C. Tringides, M. Jatochawski, and E. Bauer, „Quantum Size Effects in Metallic Nanostructures“, *Physics Today*, pp.50-54 (April 2007).
- [3] S.G. Davison, and M. Steslicka, „Basic Theory of Surface States“, Clarendon Press, Oxford 1996.
- [4] V.M. Agranovich, and V.L. Ginzburg, „Crystaloptics with Space Dispersion and Theory of Excitons“, Nauka, Moskwa, 1979.
- [5] S.S. Peleliš, B. Škipina, S.M. Vučenović, D.Lj. Mirjanić, and J.P. Šetrajić, „Apsorpcija kod molekularnih nanofilmova“, *Tehnika – Novi materijali*, Vol. 2, p. 13, 2008.
- [6] D.Lj. Mirjanić, J.P. Šetrajić, B. Markoski, S.S. Peleliš, S.M. Vučenović, B. Škipina, *Kvantizacija optičkih osobina ultratankih molekularnih film-struktura*, Zbornik 54. ETRAN, MO 3.1, pp.1-4, 2010.
- [7] M.G. Cottam, D.R. Tilley, „Introduction to Surface and Superlattice Excitations“, University, Cambridge, 1989.
- [8] G. Mahan, „Many Particle Physics“, Plenum Press, New York, 1990.
- [9] I.E. Dzialoshinski, and L.P. Pitaevski, *Zh. eksper. teor. Fiz.* Vol. 36, p. 1977, 1959.
- [10] S.M. Vučenović, J.P. Šetrajić, B. Markoski, D.Lj. Mirjanić, S.S. Peleliš, and B. Škipina, „Changes in Optical Properties of Molecular Nanostructures“, *Acta Phys. Pol. A*, Vol. 117, p. 764, 2010.
- [11] B. Škipina, D.Lj. Mirjanić, S.M. Vučenović, J.P. Šetrajić, I.J. Šetrajić, A.J. Šetrajić-Tomić, S.S. Peleliš, and B. Markoski, „Selective IR Absorption in Molecular Nanofilms“, *Opt. Materials* 33, p. 1578, 2011.
- [12] T. Ivetić, M.V. Nikolić, M. Slankamenac, M. Živanov, D. Minić, P.M. Nikolić, and M.M. Ristić, „Influence of Bi₂O₃ on Microstructure and

Electrical Properties of ZnO–SnO₂ Ceramics“, *J. Res. Phys.* Vol. 31(1), p.61, 2007.

- [13] I.D. Vragovich, J.P. Šetrajić, and R. Scholz, „Quantum Size Effects in the Optical Properties of Organic Superlattices Containing 3,4,9,10 Perylene Tetracarboxylic Dianhydride (PTCDA)“, *Eur. Phys. J. B*, Vol. 66, pp. 185-190, 2008.
- [14] H.-Chung Hsueh, G.-Yu Gao, and S.G. Louie, „Electronic and Optical Properties of Silicon Carbide Nanostructures“, Ch. 7.3, p.148, in „Silicon Based Nanomaterials“, Eds. H. Li, J. Wu and Zh.M. Wang, Springer, New York, 2013.
- [15] J.P. J.P. Šetrajić, S.K. Jaćimovski, V.D. Sajfert, and D. Rodić, „Some Optical Exceptions of Molecular Nanofilm-Structures“, *Quantum Matter* Vol. 3/4, p.394, 2014; doi:10.1166/qm.2014.1138

ABSTRACT

The results of theoretical investigations of the quantum-size and conformation changes of fundamental properties of nanofilm molecular crystals under two boundary surfaces presence, which have great repercussion on the transport properties of photons as the carriers of information were done in the work. By adapted Green's function method as well as by analytical and numerical calculations the dynamical permittivity, and the absorption as well as refraction indices were determined for total nanosample.

PROPERTIES OF NANOSCOPIC OPTICAL MATERIALS

J.P.Šetrajić, I.J.Šetrajić, A.J.Šetrajić–Tomić,
S.M.Vučenović, D.Vuković