МЕТАЛЛ НАНОЗАРРАЧАЛАР СИРТИДА ФОТОЭЛЕКТРОН ЭМИССИЯ - НАНОПЛАЗМОНИКА ЭФФЕКТИНИНГ АСОСИ

Р.Алиев, М.Носиров

Мақолада металл нанозарраларда локаллашган плазма резонанси ҳамда электромагнит майдон ва ўтказувчанлик электронларининг металл-ташқи муҳит чегарасида ўзгаришини ҳисобга олган ҳолда фотоэмиссия юзага келиши муҳокама қилинган. Металл нанозарраларда фотоэмиссия узлуксиз металларга нисбатан юқори эканининг асосланган ишнинг янгилиги ҳисобланади.

Калит сўзлар: *локаллашган плазма резонанси, нанозарралар, сиртий фотоэмиссия.*

В работе обсуждена фотоэмиссия из металлических наночастиц с учетом возбуждения в них локализованного плазменного резонанса и изменения электромагнитного поля и массы электрона проводимости на границе металл-внешняя среда. Новым результатом является увеличение фотоэмиссии из слоя наночастиц в несколько раз по сравнению со случаем сплошного слоя металла.

Ключевые слова: *локализованный плазменный резонанс, наночастица, поверхностная фотоэмиссия*

This article discusses the problem of photoissue from metal nanoparticles in view of excitation in them located plazmon of a resonance both change of an electromagnetic field and weight electron of conductivity on border metal - external environment. The reeived new result is the increase of photoissue of a current from a layer nanoparticles in some times in comparison with a case of a continuous layer of metal.

Key words*: Located Plasmon of a resonance, nanoparticles, superficial photoissue.*

Сўнгги йилларда наноплазмоника эффектларидан замонавий амалий оптикада, оптоэлектроникада ва фотовольтаикада фойдаланиш тадқиқотчилар эътиборини тортиб келмоқда [1]. Фотоэлектрик энергия ўзгартиргичларнинг самарадорлигини ошириш мақсадида яримўтказгич сирт остига ёки ҳажмига киритилган металл нанозаррачалари билан боғлиқ фотоэлектрон эмиссия ва генерацияланувчи электромагнит тебранишлар ўзаро таъсиридан фойдаланилади [2].

Маълумки, металл нанозарралардан фотоэмиссия туфайли пайдо бўлган электронлар булути зичлигининг тебраниши оптик спектрнинг кўринма ва инфрақизил қисмида резонанс частотасига эга. Бошқача айтганда, турли частотали фотонлар оқимининг таъсири туфайли нанозарралар атрофида локаллашган плазма резонанси (ЛПР) юз бериши кузатилади. Шунинг учун наноплазмониканинг муҳим вазифаларидан бири ЛПР туфайли юзага келадиган оптик ва электрофизик жараёнларни ўрганишдир. ЛПР сиртий зарядлар потенциал ўра ҳосил қилиши ва бу ўрада электронларнинг ташқи электромагнит майдон (ЭМ) таъсирида тебраниши оқибатида юзага келади. ЛПР частотаси кичик зарралар учун улар-

нинг ўлчамларига боғлиқ бўлмасдан, кўпроқ уларнинг шаклига, материалига ва ўраб турган муҳитга боғлиқ бўлади. ЛПР частотасида ташқи ЭМ энергия зичлиги нанозарра ичида ташқаридагига нисбатан бир неча тартибга юқори бўлади. ЛПР уйғотилганда нанозарра ўзини резонатордек тутади. Металл нанозарраларнинг резонанс хоссалари (плазмонлар) ва ўз атрофларида ЭМни йиғиши жуда кўп янги эффектларни кузатишга имкон беради. Улардан бири – гигант комбинацион сочилишдир. Бу эффектлар асосида плазмон нанозаррали оптоэлектрон қурилмалар, наноўлчамли лазерлар, юқори самарали қуёш элементлари таклиф қилинди ва баъзилари амалга оширилди [2].

ЛПР уйғотилишида юзага келадиган эффектлардан бири нанозарралардан фотоэлектрон эмиссиядир. Нанозарралардан фотоэмиссия макроскопик металл структуралар сиртида кечадиган фотоэлектрон эмиссиядан кескин фарқ қилади, чунки нанозарра ичида ва атрофида ЭМ кескин ортиб кетади ва нанозарра юзининг ҳажмига нисбати макроскопик структураларга қараганда анча юқоридир. Зеро, фотоэмиссия юзага келишида сиртнинг катта бўлиши ва ЭМ кучланганлигининг юқори бўлиши муҳим аҳамиятга эга. Шундай қилиб, нанозарраларнинг масса бирлигидан фотоэлектронларнинг чиқиши макроскопик структураларга нисбатан анча катта бўлади. Нанозарралар ҳисобига фотодетекторлар самарадорлигини ошириш катта амалий аҳамиятга моликдир. Нанозарралардан фотоэлектрон эмиссия ва унинг оптимал параметрларини аниқлаш учун фотоэлектрон эмиссия кесимини аниқлаш зарур бўлади.

Ушбу иш ЛПР уйғотилишини ҳисобга олган ҳолда металл нанозарралардан сиртий фотоэлектрон эмиссиянинг кесимини аниқлаш ва нанозарралардан фотоэлектрон эмиссия макроструктуралардагига нисбатан самарали эканини кўрсатишга бағишланган. Металл фотодетекторлар сиртида уларнинг самарадорлигини ошириш учун микро ва нано структуралар яратилган, лекин бу структуралар металл қобиқлар билан яхши электр контактга эга бўлгани учун уларда ЛПР уйғотилиши ва фотоэлектрон эмиссия кучайтирилиши мумкин эмас. ЛПР уйғотилишини ҳисобга олган ҳолда металл нанозарралардан сиртий фотоэлектрон эмиссиянинг ортиши амалда кузатилган, лекин бу жараён назарий ва систематик ўрганилмаган.

Ушбу ишда [3] манбада келтирилган экспериментал натижаларга асосланиб, ЛПР уйғотилишини ҳисобга олган ҳолда металл нанозарралардан сиртий фотоэлектрон эмиссиянинг кесими ҳисобланган. Бунда электр майдони ва электрон массасининг сиртда сакраб ўзгариши ҳисобга олинади, бу фотоэлектрон эмиссиянинг кескин ортишига олиб келади.

Металл нанозарралар сиртидан фотоэлектрон эмиссия кесими

$$\sigma_{ph-em} = \frac{8\pi\hbar\varpi}{cn_+} C_{em} \mid F \mid^2 K_{geom} \qquad (1)$$

ифода орқали аниқланади, бу ерда

$n_+ = \mathrm{Re}\sqrt{\varepsilon_+}$ - нанозарранинг синдириш кўрсаткичи;

$C_{em} = \frac{e^2 kTV^2}{\pi^2\hbar^5\omega^4}\int dx[1+(\hbar\omega/V-1)/x]^{1/2}\ln(1+\exp(\frac{E_f - Vx}{kT})U(x)\mid K_{dis}(x)\mid^2$ - фотоэлектрон эмиссия эҳтимоллиги; $\hbar$ - Планк доимийси, e – электрон заряди, c – ёруғлик тезлиги, ω – частота, k – Больцман доимийси, V – потенциал тўсиқ баландлиги;

$$U(x) = \frac{4r_m^2}{(r_m+1)^2}\frac{x}{[x+r_m(1-x)]\{(x+\hbar\omega/V)^{1/2}+[r_m(x+\hbar\omega/V-1)]^{1/2}\}^2},$$

$$K_{dis}(x) = \frac{1}{2}(1+\varepsilon_-/\varepsilon_+)[1+\frac{1-r_m}{1+r_m}(2x+\hbar\omega/V-1)]+\frac{1}{2}(1-\varepsilon_-/\varepsilon_+)[x+\hbar\omega/V)^{1/2}+i(1-x)^{1/2}]^2$$

-электр майдонининг чегарада сакраб ўзгаришини ҳисобга олувчи функциялар;

$$F = \frac{1}{1+R_{dep}-iR_{rad}}\frac{\varepsilon_+}{\varepsilon_+ + (\varepsilon_- - \varepsilon_+)L}, \quad R_{dep} = \frac{\varepsilon_+}{\varepsilon_+ + (\varepsilon_- - \varepsilon_+)L}(A\varepsilon_+ y^2 + B\varepsilon_+^2 y^4),$$

$$R_{rad} = \frac{16}{9r}(\frac{\pi n_+ a}{\lambda})^3 \frac{\varepsilon_+}{\varepsilon_+ + (\varepsilon_- - \varepsilon_+)L}, \quad L = \frac{r^2}{2}\int \frac{du}{(u+r^2)^2(u+1)^{1/2}} \text{ -}$$

– деполяризация ва радиацион йўқотишларни ҳисобга олувчи функциялар,

А ва В – доимийлар;

$K_{geom} = \frac{\pi a^2}{r}[\frac{r}{1-r^2} + \frac{1-2r^2}{(1-r^2)^{3/2}}\arcsin(1-r^2)^{1/2}$ – нанозарра шакли ва ўлчамини ҳисобга олувчи функция;

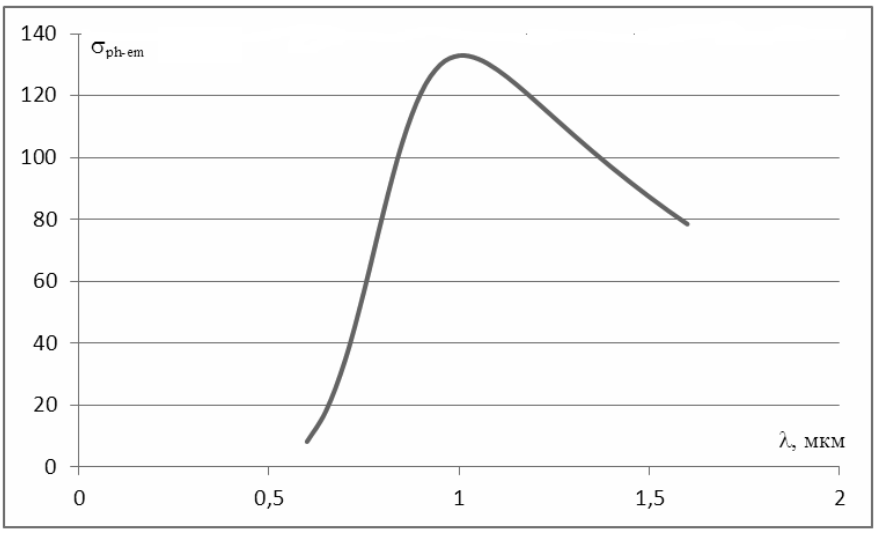
$$\varepsilon_-(\lambda) = \varepsilon_{Au}(\lambda) + (\lambda/\lambda_p)^2[\frac{1}{1+i\lambda/\lambda_f} - \frac{1}{1+(i\lambda/\lambda_f)(a_c/a+1)}],\ \varepsilon_{Au}(\lambda) = 12 + (\lambda/\lambda_p)^2\frac{1}{1+i\lambda/\lambda_f},$$

$$\varepsilon_+(\lambda) = \varepsilon_\infty + \sum_{i=1}^{3}\frac{C_i}{1-(\frac{1.242}{\lambda E_i})^2 - i\frac{1.242}{\lambda E_i}\gamma_i} - F_1\chi_1^{-2}(\lambda)\ln[1-\chi_1^2(\lambda)] - F_2\chi_2^{-2}(\lambda)\ln\frac{1-\chi_1^2(\lambda)}{1-\chi_2^2(\lambda)} \text{ -}$$

– олтин ва кремний учун диэлектрик функциялар (диэлектрик сингдирувчанликнинг тушаётган ёруғликнинг тўлқин узунлигига боғлиқлиги).

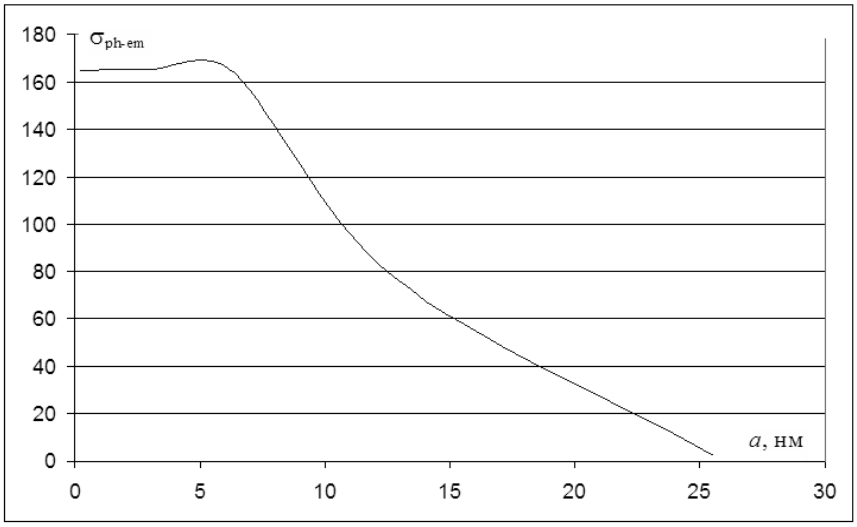
Юқорида келтирилган ифодалардан олтин нанозарралардан фотоэмиссия кесимининг тушаётган ёруғлик тўлқин узунлиги ва нанозарра ўлчамига боғлиқлигини ўрганиш учун Visual Basuc-6.0 да махсус дастур тузилди ва ишга туширилди. Дастурнинг ўзига хос хусусияти шундаки, у катталиклар орасидаги боғланишни нафақат жадвал, балки MS Excel да график кўринишида ҳам ифодалашга имкон беради. Дастур, шунингдек, нанозарранинг массаси, энергияси, шакли, Ферми сатҳи ва температурани назорат қилишга имкон беради [4].

1-расмда олтин нанозарралардан фотоэмиссия кесимининг ёруғлик тўлқин узунлигига боғлиқлиги келтирилган. Кўриниб турибдики, ёруғлик тўлқин узунлиги ~ 1,0 мкм бўлганда фотоэмиссия кесими максимал қийматга эришади.



1-расм. Олтин нанозарралардан фотоэлектрон эмиссия кесимининг ёруғлик тўлқин узунлигига боғлиқлиги

2-расмда олтин нанозарралардан фотоэлектрон эмиссия кесимининг нанозарра ўлчамига боғлиқлиги келтирилган. Кўриниб турибдики, нанозарра ўлчами 5,5 нм бўлганда фотоэлектрон эмиссия кесими максимал қийматга эришади.



2-расм. Олтин нанозарралардан фотоэлектрон эмиссия кесимининг нанозарра ўлчамига боғлиқлиги

Фотоэлектрик энергия ўзгартиргичлари яратиш учун анъанавий қўлланадиган р-типли кремнийда жойлашган сферик олтин нанозарраларда ЛПР ҳосил бўлувчи тўлқин узунлиги λ бўлганда, фотоэлектрон эмиссия кесими ютилиш кесимининг бир неча фоизини ва нанозарра геометрик кесимининг ярмини ташкил этади. Шундай қилиб, агар нанозарраларнинг нисбий зичлиги 0,3 га тенг бўлса, барча фотонларнинг 5 % игина фотоэлектронларга айланади. λ = *1 мкм* бўлганда нанозарралардан фотоэлектрон эмиссия токи олтин қатламидагига нисбатан икки тартибга юқори бўлади. Металл нанозарранинг радиуси оптимал қийматга эришганда фотоэлектрик эмиссион ток энг юқори бўлади.

Ишда олинган натижалар янги юқори сезгирликка эга фотодетекторлар ва фотоэлектрик энергия ўзгартиргичлар яратишда қўлланиши мумкин.

Адабиётлар:

1. Brongersma M L, Kik P G. Surface Plasmon Nanophotonics.- Springer, 2007.

2. Р.Алиев. Применение эффекта наноплазмоники для повышения эффективности кремниевых солнечных элементов. // Материалы III междунар. конф. по оптическим и фотоэлектрическим явлениям в полупроводниковых микро- и наноструктурах. 14-15 нояб. 2014 г. Ташкент.- С. 133-134.

3. Климов В В, *Нанолазмоника.* - М.: Физматлит, 2009.- 471 с.

4. С.Р.Алиев, М.З.Насиров, Р.У.Алиев, Л.М.Мадумарова. Наноплазмоника в фотовольтаике, Патент № DGU 03861, 2016.

Андижон давлат университети,
2017 йил 20 январда қабул қилинган
(Тақризчи: проф. С.Зайнобидинов)