

$Ni_{0.4}Zn_{0.6}Fe_2O_4$ və SmS ƏSASLI FD-REZİSTOR NANOREZONATORUNUN ŞÜALANMA XARAKTERİSTİKASI

Ş.N. ƏLİYEVƏ

*Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Fizika İnstitutu,
AZ-1143, Bakı, H. Cavid prospekti, 131
Shahla-aliyeva22@rambler.ru*

Aktiv layı qranullaşdırılmış SmS və $Ni_{0.4}Zn_{0.6}Fe_2O_4$ olan üçlaylı nanorezonatorun lüminessensiya və bəzi optik xassələri öyrənilmişdir. Spektrin görünən oblastında yüksək intensivliyə malik lüminessensiyanın mövcudluğu və otaq temperaturunda $\lambda = 532$ nm dalğa uzunluqlu YAGNd lazeri ilə həyəcanlandırma zamanı (lazerin gücü 8mVt böyük olduqda) THz şüalanma müəyyən edilmişdir.

Açar sözlər: nazik təbəqə, ferrit, hiper rezonans effekt, tezlikdən asılı rezistor

PACS: 41.20Gz;42.72Ai

1. GİRİS

Tezlikdən asılı rezistorun praktiki tətbiqi haqqında [1-6] işlərimizdə məlumat verilmişdi. Belə ki, bu rezistorların praktiki tətbiqinin daha ətraflı öyrənilməsi diqqəti günəş şüası nəticəsində alüminium keçiricilərdə müşahidə olunan lüminessensiya həyəcanlanmasına çəkdi (xüsusən də isti ölkələrdə). Qeyd edək ki, oksidləşmiş alüminium (Al_2O_3) dielektrikdir. Təcrübə nəticələrinin təsdiq etdiyi kimi, keçirici üzərinə (Ni-Zn) ferrit təbəqəsi çökdürüldükdən sonra, tezlikdən asılı (FD-frequency dependence) rezistor quruluşca üçlaylı Fabry-Perot paketini (interferometri) təmsil edə bilər. Beləliklə, bu məqalədə tezlikdən asılı rezistorun lüminessensiya effektlərinin tədqiqatları ilə bağlı nəticələrdən bəhs edilir.

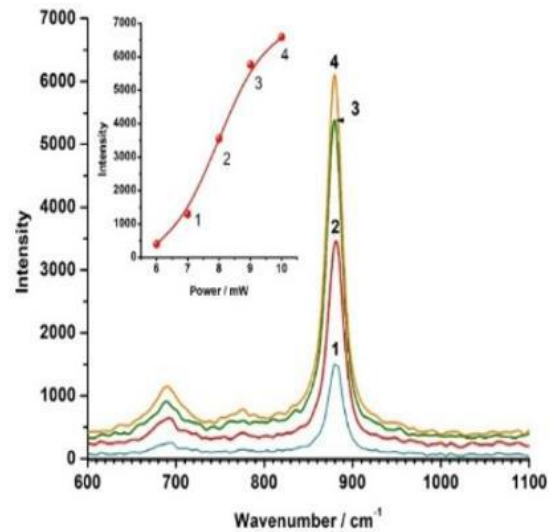
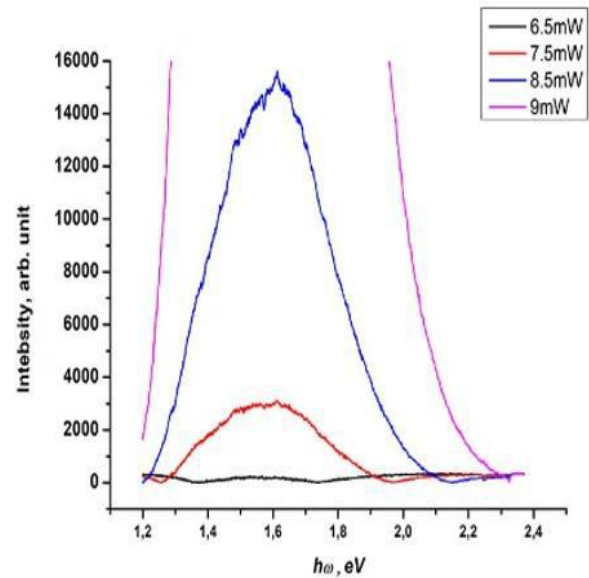
2. TƏCRÜBƏLƏR VƏ MÜZAKİRƏ

[1-6] işlərində oksidləşmiş səthə malik sapfir və şüşə altlıqlara submikron təbəqələrin çökdürmə texnologiyası tədqiq olunmuşdur. Kontrol AFM təcrübələrində bu təbəqələrin bəzi xarakterik xüsusiyyətləri qeydə alınmışdır. Belə ki, təbəqə səthləri qranular olmasına baxmayaraq mükəmməlliyə malikdir və lazer ilə həyəcanlandırma zamanı bu nümunələrin lüminessensiya spektrlərində (1.2-2.3 eV) həm görünən, həm də terahers diapazonda müşahidə olunan generasiyaya oxşar yüksək intensivlikli maksimum mövcuddur. Qeyd edək ki, məcburi şüalanma mexanizmi optik həyəcanlanmış elektronların və deşiklərin zonalarası şüalanma rekombinasiyasına zəmin yaradır. Bu işə yalnız təbəqədə invers yerləşmənin itkisinə səbəb olan mərkəzlərdə olur [7, 8].

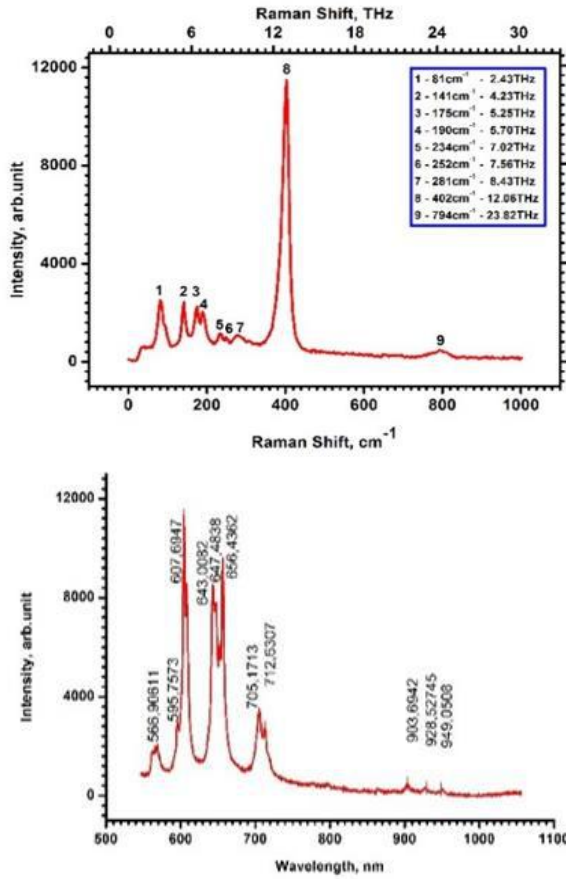
[9, 10] işlərində SiO_2 -Si altlıqlı polikristal ZnO layının optik həyəcanlanması zamanı lazer generasiyasının müşahidə edilməsi barədə məlumat verilmişdi. Müəlliflər göstərmişlər ki, layların yüksək olmayan keyfiyyətini üçlaylı nanorezonatorun parametrlərini, yəni bir-birindən kəskin fərqlənən sındırma əmsalına malik $n_{hava} < n_{ZnO}$, $n_{ZnO} > n_{SiO_2}$ layları və bu layların qalınlıqlarını düzgün seçməklə kompensə etmək olar.

Təcrübə tədqiqatlarımızın da göstərdiyi kimi, bu nanorezonatorun təbəqələri üçün təsvir olunan üçlaylı rezonatorlar üçün də təsdiqlənmişdi: hava-(Ni-Zn)

ferrit təbəqəsi- SiO_2 (yaxud Al_2O_3), hava- SmS - SiO_2 (və ya Al_2O_3). Nanorezonatorun şüalanma xüsusiyyətləri şəkil 1 və 2-də göstərilmişdir.



Şəkil 1. Lazer ilə həyəcanlandırma zamanı nanorezonatorun fotolüminessensiya və Raman spektrləri (lazerin gücü: 1- 7mW; 2 – 8mW; 3 – 9mW; 4 – 10mW) [5,6]

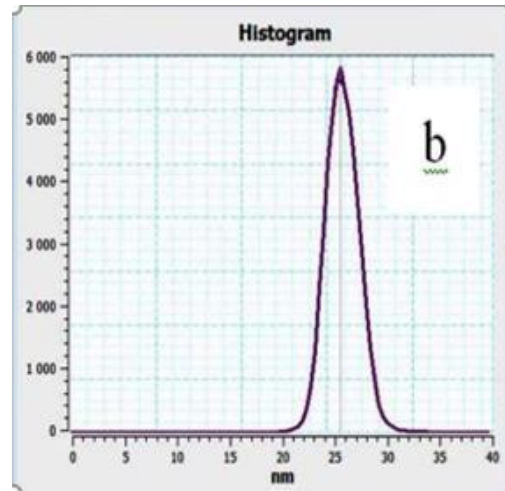
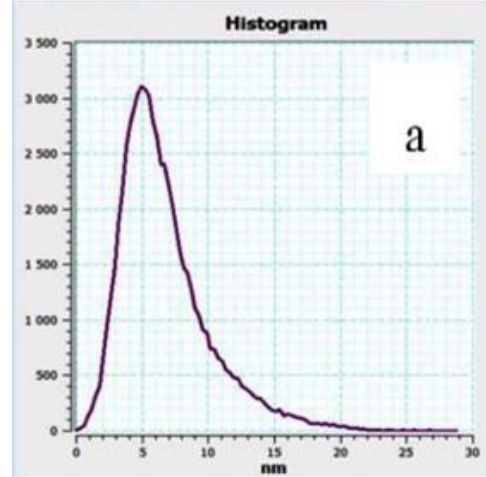


Şəkil 2. $\lambda=532\text{nm}$ dalğa uzunluqlu titan-sapfir lazeri ilə həyəcanlandırma zamanı 500-1100nm oblastında və 300K temperaturda 50nm qalınlıqlı sapfir altlıqlı yarımkəçirici SmS nazik təbəqəsinin Raman və fotoluminensensiya spektirləri.

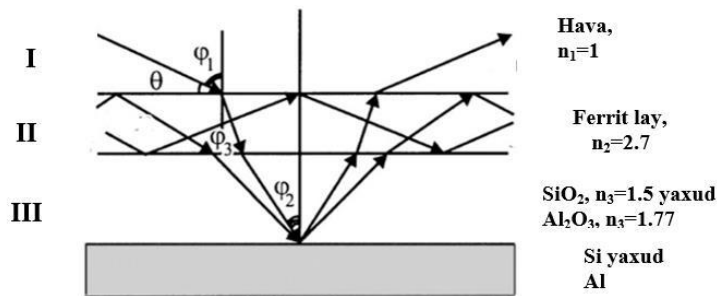
Təcrübələrdən də göründüyü kimi, təbəqə qalınlığının artması generasiyanın yox olmasına səbəb olur ki, bu da hiperrezonansın olma fikrini təkzib edir. Digər tərəfdən, (Ni-Zn) ferritlərinin də aid olduğu şpinel birləşmələr defektli quruluşa malikdir. Qranularının ölçüsü minimum olan ferrit nazik təbəqələrində luminesensiya pikinin intensivliyi maksimal olur [5,6]. Şəkil 3-də isə SmS təbəqəsinin səth topoqrafiyasının histogramı verilmişdi.

Səthin qranulları aradan qaldırmaq məqsədi ilə işlənilməsi maksimumun amplitudunu kəskin şəkildə aşağı salır. Müşahidə olunan effekt bucaq asılılığına malikdir. Şəkil 4-də işdə istifadə olunan nanorezonatorun blok-sxemi təsvir olunmuşdur [3,4]. Nanorezonato-

run aktiv elementi – sındırma əmsalı 2.7 olan ferrit təbəqəsidir. Ferrit təbəqə dielektrik təbəqələrlə əhatə olunub: sındırma əmsalı 1.5 olan silisium oksidi və sındırma əmsalı 1.0 olan hava. Sındırma əmsallarındakı böyük fərq təbəqələrarası laylarda güclü əksolunma və ferrit tərəfindən şüalanan işıqın interferensiyasını göstərir (ışıq optik sıxlığı böyük mühitdən optik sıxlığı az olan mühitə keçdiyi zaman tam daxili əks olunma müşahidə olunur). Ferrit və SiO₂ laylarının qalınlıqları, uyğun olaraq 100nm və 150nm-dir.



Şəkil 3. SmS təbəqəsinin səth topoqrafiyasının histogramı: a- tablandırıma qədər; b- 600°C temperaturunda tablandırımdan sonra.



Şəkil 4. Nanorezonatorun blok sxemi.

Qeyd edək ki, şüalanma bucağından asılı olaraq rezonatordan çıxan işıq 3 tip ola bilər (şəkil 4):

I. Üz səthdən şüalanan işıq.

II. Hava/Ni_{0.4}Zn_{0.6}Fe₂O₄ sərhəddində tamamilə əks olunan işıq (Ni_{0.4}Zn_{0.6}Fe₂O₄/SiO₂ (yaxud Al₂O₃) sərhəddindən deyil).

III. Işıq şüalanması iki sərhəd arasında tam əks olunma θ₂ bucağından böyük şüalanmanın 75%-ni təşkil edir.

Verilmiş polarizasiyanın *m* tərtibli modunun mövcud olmadığı ferrit qatının qalınlığı aşağıdakı ifadələrlə təyin olunur [9,10]:

$$\left(\frac{d}{\lambda}\right)_{TE} = \frac{1}{2\pi\sqrt{n_2^2 - n_3^2}} * \left(m\pi + \tan^{-1} \left(\frac{n_3^2 - n_1^2}{n_2^2 - n_3^2} \right)^{1/2} \right)$$

$$\left(\frac{d}{\lambda}\right)_{TE} = \frac{1}{2\pi\sqrt{n_2^2 - n_3^2}} * \left(m\pi + \tan^{-1} \frac{n_2^2}{n_1^2} \left(\frac{n_3^2 - n_1^2}{n_2^2 - n_3^2} \right)^{1/2} \right)$$

Burada *m*-modun tərtibi, *d*- ferrit layının qalınlığıdır. Ni_{0.4}Zn_{0.6}Fe₂O₄ ferrit təbəqəsi üçün hesablanmış mini mal qalınlıqlar aşağıdakı cədvəldə verilmişdir.

Modun sayı <i>N</i> (İkinci tip)	0	1	2	3	4
d2, nm (TE)	48.43	182.22	316.01	449.79	583.38
d ₂ , nm (TM)	41.96	175.75	309.533	443.32	577.103

Cədvəldən də görüldüyü kimi, 100-150nm qalınlıqlı ferrit lay üçün 250nm qalınlıqdan fərqli olaraq iki mod deyil, yalnız bir mod mövcud olur. Bunu həmçinin şəkil 1-də də müşahidə etmək olar. Belə ki, burada da təbəqə qalınlığı 100nm tərtibindədir və modun qeydə alınması səthə 0° bucaq altında olur.

Generasiyaedici layda bir əlaqəli modun (II tip) mövcudolma şərtini ətraflı olaraq nəzərdən keçirək. Bu halda əks olunan şüada bir keçid üçün faza sıçrayışı π-nin tam mislinə bərabər olur.

$$N\pi = \frac{1}{2\pi\sqrt{n_2^2 - n_3^2}} * \left(m\pi + \tan^{-1} \left(\frac{n_3^2 - n_1^2}{n_2^2 - n_3^2} \right)^{1/2} \right)$$

$$N\pi = \left(\frac{2\pi}{\lambda} \right) n_2 d_2 \cos\varphi_3 + \chi_{21} + \chi_{23}$$

χ₂₁ + χ₂₃ – təbəqələri ayıran sərhəddə tam daxili əks-olunma hesabına faza sürüşməsidir. Tam daxili əks-olunma üçün bucağın sərhəd qiyməti

$$\sin\varphi_3^0 = \frac{n_3}{n_2} = 0.658 \text{ şərtindən təyin edilir.}$$

Hava-ferrit sərhəddi üçün analogi hesablama 200nm-dən böyük qalınlıqlarda iki əlaqəli modun olduğunu göstərdi. Bizim halda ikinci əlaqəli mod (üçüncü tip) sapfir layına nüfuz edir. Dalğa vektorunun perpendikulyar proeksiyası üçün rezonans şərtinin eyni zamanda hər iki sapfir və ferrit layında mövcud olmaması səbəbindən bu modun intensivliyi yalnız ferrit layında yayılan birinci modun (ikinci tip) intensivliyindən kifayət qədər aşağı olur.

Şüalanma modlarının (I tip) intensivliklərinin sönməsini laylararası sərhədə perpendikulyar, daha doğrusu Z oxu istiqamətində yayılan 532 nm dalğa uzunluqlu işığın interferensiya minimumunun hesablamalarından əldə etmək olar. Bu halda sapfir və ferrit laylarının optik uzunluğunun ikiqat qiyməti tək sayda yarım dalğa uzunluğuna bərabər olmalıdır:

$$n_3 d_3 + n_1 d_1 = \frac{(2N+1)\lambda}{2}.$$

Beləliklə, ferrit layının yüksək keyfiyyətli olması üçlü nanorezonatorun parametrlərinin seçilməsi yolu ilə kompensə olunmuşdur.

3. NƏTİCƏLƏR

Aktiv elementi Ni_{0.4}Zn_{0.6}Fe₂O₄ yaxud SmS olan üçlü Fabry-Perot nanorezonatorunun riyazi modeli verilmişdi. İlk fəfə olaraq üçlü Fabry-Perot nanorezonatorunda şüalanma generasiyası (E=1.6eV və γ=26.4THs) müşahidə edilmişdir.

MİNNƏTDARLIQ

Bu iş Qrant № EİF-BGM-3-BRFTF-2+/2017-15/04/1-M-02 Azərbaycan Respublikası Prezidenti yanında Elmin İnkişafı Fondunun maliyyə dəstəyi ilə həyata keçirilmişdir.

İşin ərsəyə gəlməsində dəyərli məsləhətlərinə və köməklisinə görə f.-r.e.d. T.R.Mehdiyevə dərin minnətdarlığımı bildirirəm.

[1] T.R.Mehdiyev, A.M.Gashimov, N.R.Babayeva, A.A. Habibzade. AJP Fizika, Vol. XIV, No.3, pp. 207-217, 2008.
[2] A.A. Habibzadeh, T.R. Mehdiyev, A.M.Hashimov, E.V.Dmitriyev, N.R.Babayeva. International Journal for Knowledge, Science and Technology, Vol.1, No. 1, pp. 49-56, 2009.

[3] A.A. Habibzadeh, N.R. Babayeva, A.M.Hashimov, T.R. Mehdiyev. "Magnetolectric and magnetoelastic properties of ferromagnetic shell of frequency dependent resistor", 6th International Conference on Technical and Physical Problems of Power Engineering (ICTPE-

S.N. ƏLİYEVƏ

- 2010), pp.617-621, Tabriz, Iran, 14-16 September 2010.
- [4] *Sh. Aliyeva, S.Aliyeva, T. Mehdiyev.* International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering (IJTPE), Issue 14, Vol. 5, No. 1, 2013, pp.119-126, March 2013.
- [5] *T.R. Mehdiyev, Sh.A. Ahmadova, A.A.Sadigova, Sh.N. Aliyeva, X.A. Gasanova.* Investigation of photoluminescence properties of Ni-Zn ferrites, ICTPE 2020, pp.66-69, Istanbul, Turkey, 12-13 October 2020.
- [6] *T.P. Mehdiyev, A.M. Gashimov, Sh.N.Aliyeva, I.F. Yusibova, A.V. Agashkov, B.A. Bushuk.* "Luminescent and optical properties of (Ni, Zn) ferrites", IJTPE, , Vol. XIII, No.1, pp.81-90, 2021.
- [7] *K.Tang, G.K. L. Wong, M. Kawasaki, A.Ohtomo, H. Koinuma, Y. Segawa.* Solid State Commun. Vol.103, pp.459, 1997.
- [8] *Z.K. Tang, G. K. L. Wong, P. Yu.* Appl. Phys. Lett. 72, pp. 3270, 1998
- [9] *A. Gruzintsev, G. Emelchenko, C. Barthou, P. Benalloul, V. Volkov.* "Single-mode lasing from ZnO-SiO₂ thin film nanoresonators obtained by magnetron sputtering method", Photonic Crystal Materials and Devices III, Proc. of SPIE, Vol. 6182, pp.61822C:1-6, 2006.
- [10] *A.N. Gruzintsev, V.T. Volkov, C. Barthou*, P. Benalloul.* Semiconductors or physics of the solid state, Vol. 36, No. 6, pp.741-745, 2002

Sh.N. Aliyeva

RADIATIVE CHARACTERISTICS OF NANORESONATOR OF FD RESISTOR BASED ON Ni_{0.4}Zn_{0.6}Fe₂O₄ and SmS

We have studied the luminescent and some optical properties of a three-layer nanocavity, the active layer of which is based on a granular layer of SmS or Ni_{0.4}Zn_{0.6}Fe₂O₄ ferrite. The presence of high-intensity luminescence in the visible region of the spectrum and the generation of terahertz radiation by excitation of YAG Nd ($\lambda = 532$ nm) with a power above 8 mW and room temperature have been established.

Ш.Н. Алиева

ИЗЛУЧАТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НАНОРЕЗОНАТОРА FD-РЕЗИСТОРА НА ОСНОВЕ Ni_{0.4}Zn_{0.6}Fe₂O₄ и SmS

Изучены люминесцентные и некоторые оптические свойства трехслойного нанорезонатора, активный слой которого выполнен на основе гранулированного слоя SmS или Ni_{0.4}Zn_{0.6}Fe₂O₄ феррита. Установлено наличие высокоинтенсивной люминесценции в видимой области спектра и генерация ТГц –излучения при возбуждении YAG Nd ($\lambda=532$ нм) мощностью выше 8 мВт в комнатной температуре.

Qəbul olunma tarixi: 24.08.2021