

MAYE KRISTAL - GÜMÜŞ NANOHISSƏCİKLƏRİ KOLLOİDİNDƏ İDARƏ OLUNAN SƏTHLƏ LOKALLAŞMIŞ PLAZMON REZONANSI

A.R. İMAMƏLİYEV¹, G.F. QƏNİZADƏ¹, Z.İ. BUDAQOV², G.M. MURADOVA¹

¹Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi, Fizika İnstitutu,
H.Cavid pr.131, Bakı, AZ 1073,

²Fransa - Azərbaycan Universiteti, Nizami küç., 183, Bakı, AZ 1010
Rahimoglu1960@gmail.com

İşdə 80-100 nm ölçülü gümüş hissəcikləri və mənfi dielektrik anizotropiyalı maye kristal əsasında hazırlanmış kolloid sistemdə səthlə lokallaşmış plazmon rezonansı (SLPR) tədqiq olunmuşdur. 50 nm qalınlıqlı elektro-optik yuvacıda homeotropik yönəlmə halında SLPR udulma piki spektrin görünən oblastına (678 nm) düşür. Elektrik sahəsinin köməyi ilə udulmanın maksimumunu uzun dalğalar tərəfə sürüşdürmək olur. Məsələn, yuvacığa 9 V gərginlik verdikdə plazmon piki 698 nm-də alınır. Bu, elektrik sahəsinin təsiri ilə gümüş hissəciklərinin ətrafında maye kristal molekullarının dönməsi ilə izah olunur.

Açar sözlər: maye kristal, gümüş nanohissəcik, plazmon rezonansı, UV-görünüş spektri, dielektrik keçiricilik
DOI:10.70784/azip.2.2025333

GİRİŞ

Məlumdur ki, metalın səthinə düşən lektromaqnit dalğasının (EMD) dalğa uzunluğu

$$\lambda_p = \frac{2\pi c}{\sqrt{\frac{n}{m_e \epsilon_0}}}$$

qiyməindən böyük olduqda (n - metaldakı sərbəst elektronların konsentrasiyası, m_e - elektronun kütləsi, c – işıq sürəti, ϵ_0 – elektrik sabitidir) sərbəst elektron qazının kollektiv rəqsi nəticəsində EMD metalın səthindən əks olunur, $\lambda < \lambda_p$ olduqda metal EMD üçün şəffaf olur [1].

Səth plazmon rezonansı (SPR) - işıq şüası nazik metal təbəqədən əks olunarkən müşahidə olunan hadisədir. Metal təbəqənin səthinə dəqiq müəyyən olunmuş bir bucaq altında düşən işığın təbəqədəki sərbəst elektronlarla qarşılıqlı təsiri nəticəsində əks olunan işıq enerjisinin bir hissəsi itir [2]. Düşən işıq düşmə müstəvisində polarlaşmışdırsa (p -polarizasiya), nazik metal təbəqədə SPR müəyyən şərtlərdə (dalğa uzunluğunun və düşmə bucağının müəyyən qiymətində) müşahidə oluna bilər. s -polarizasiya halında isə (ışıq düşmə müstəvisinə perpendikulyar istiqamətdə polarlaşmışdır) səth plazmonları həyəcanlanma bilmir. SPR-in müşahidə olunduğu dəqiq düşmə bucağı bir çox faktorlardan - metalın növündən, təbəqəni əhatə edən mühitlərin xassələrindən və s. asılıdır. Tam daxili qayıtma ilə zəiflədilmiş səth plazmonlarının həyəcanlandırılması Krechmanın təklif etdiyi prizma metodu ilə müşahidə oluna bilər [3].

Metal nanohissəciklərin də üzərinə düşən EMD müəyyən bir rezonans tezliyində sərbəst elektronları kollektiv rəqsə gətirir. Bu hadisə səthlə lokallaşmış plazmon rezonansı (LSPR) adlanır. LSPR tezliyi hissəciyin tərkibindən, ölçüsündən, formasından asılı olub, hissəciyi əhatə edən mühitin nisbi sındırma əmsalına çox həssasdır [4]. LSPR udulma intensivliyinin metal

nanohissəcikləri əhatə edən mühitin lokal sındırma əmsalının kiçik dəyişmələrinə qarşı çox həssas olması bu hissəciklərdən sensor kimi istifadə etmək imkanı yaradır. Bu dəyişmələr özünü zəifləmənin (ışığın udulması və elastik səpilməsi birlikdə) spektral sürüşməsi şəklində göstərir.

Nəcib metallardan qızıl və gümüş nanohissəciklərində müşahidə olunan SLPR, spektrin görünən hissəsinə düşdüyündən tətbiqlə əlaqədar olaraq bu materiallarda plazmon rezonansının tədqiqinə daha geniş yer verilir [5]. [6] işində göstərilmişdir ki, kolloiddəki gümüş hissəciklərinin səthinə polivinil turşusu ilə örtüldükdə plazmon piki daha kəskin olur udulmasının maksimumu 0.4 nm qədər uzun dalğalı tərəfə sürüşür. Bundan əlavə, kolloiddəki gümüş nanohissəciklərinin ölçüsünün kiçilməsi udulma zolağının eninin artmasına səbəb olur. Tartarat turşusu ilə örtülən gümüş nanohissəcikləri müxtəlif su nümunələrinin tərkibini yoxlamaq üçün həssas LSPR sensor yaratmağa imkan verir [7].

Nanoelmlər və nanotexnologiya sahəsində son illərdə baş verən yeniliklər bir çox xəstəliklərin diaqnostikasında, müalicəsində və önənməsində radikal dəyişikliklər yaratmışdır. Bu mənada gümüş hissəcikləri digər metal nanohissəciklərlə müqayisədə daha həyati vacib və cəlbədicidir olduğundan biotibbi tətbiqlər sırasına daxil edilmişdir. Baxmayaraq ki, müxtəlif məqsədlər üçün digər necib metallar da tətbiq olunur, alimlər xərçəngin diaqnostika və müalicəsində gümüş nanohissəciklərinin tətbiqinə daha çox fokuslanmışlar. Bundan əlavə, gümüş nanohissəciklərinin multifunksional tətbiqlərini – antibakterial, göbələyə və iltihaba qarşı və s. təsirlərini xüsusi olaraq qeyd etmək lazımdır [8].

[9] icmalında da müəlliflər son plazmonik tətbiqlərin işlənilib hazırlanmasında başlıca rollardan birini oynayan gümüş əsaslı nanohissəciklərə daha çox diqqət yönəlmişlər. Burada həmçinin gümüş nanohissəciklərinin ölçüsünü, formasını və monodisperslik dərəcəsini tənzimləməyə imkan verən sintez metodları nəzərdən keçirilmişdir. Gümüş əsaslı biosensing çox vaxt üstü digər metallarla örtülmüş hissəciklərlə həyata keçirilir ki, bu gümüş hissəciklərin digər fiziki xassələrini də əhəmiyyətli dərəcədə dəyişdirir. Biosensing zamanı

çox maraqlı xassələr gümsülə qızılın plazmonik xassələrinin kombinasiyasından alınır. Kötüyü Ag və ya AgAu xəlitəsindən ibarət olan, qabığı isə Au olan nanohissəciklər çox həssas biosensorlar hazırlamağa imkan verir.

Displaylərin müxtəlif bucaqlardan görünüş xarakteristikaları, həmçinin elektro-optik cihazlarda geniş dalğa uzunluğu intervalında işləyərkən istifadə olunan nazik təbəqəli dixroik polyarizatorların keyfiyyəti bir çox hallarda risk altında olur, çünki dixroik filtrlərdə idarə olunma yoxdur və optik spektrin xaricində işləyə bilmirlər. [10] işində oriyentasiya nizamı göstərən (çubuq və disk şəkilli) qızıl nanohissəcikləri və maye kristaldan ibarət kolloiddə idarə oluna bilən plazmonik polyarizatorların və rəng filtrlərinin yaradılması və nümayiş olunması həyata keçirilmişdir. Dixroik boyaqlar əvəzinə metal nanohissəciklərinin istifadə olunması, spektrin təkcə görünən hissəsində yox, həm də yaxın infraqırmızı hissəsində də istənilən polyarizasiyanı və səpilməni əldə etməyə imkan verir.

TN-LCD displaylərdə maye kristala gümsülə və ya qızıl nanohissəcikləri əlavə etdikdə xarici elektrik sahəsinə tezliklə modullaşmış reaksiya müşahidə olunur. Modullaşma tezliyi, bir neçə hersdən bir neçə kilohersə qədər dəyişə bilər [11].

[12] işində metal nanostrukturda elektronların rəqsi və enerjinin yayılması ilə bağlı əsas fiziki xassələri dəqiq təsvir etmək üçün plazmon həyəcanlaşması ilə ətraf molekulların elektron halları arasındakı qarşılıqlı təsiri nəzərə alan bir neçə açar ideya irəli sürülmüşdür. Burada əsas vurğu, plazmonikanın gücləndirilməsinə və flüoressensiyanın söndürülməsinə yox, enerjinin dalğa uzunluğu ilə müqayisədə daha böyük məsafələrdə yayılmasına edilmişdir.

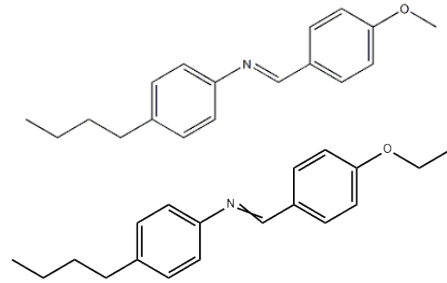
Metal nanohissəciklər əlavə olunmuş maye kristallarda optik qoşaşuasma hadisəsinin tədqiqi Maksell-Qarnett effektiv mühit nəzəriyyəsinin köməyi ilə həyata keçirilir. Metal nanohissəciklərinin səpilməyə təsirində əsas rol maye kristalın dielektrik nüfuzluğunun anizotropiyası ilə əlaqələndirilmişdir [13]. E7 maye kristalında bütün dalğa uzunluğu intervalında metal nanohissəcikləri əlavə olunmuş yüksək qoşaşuasma alınmışdır.

Gümsülə nanohissəcikləri daxil edilmiş E7 maye kristalında oriyentasiya ilə bağlı fotorefraktiv effekt müşahidə olunur [14]. İşdə həmçinin xarici elektrik sahəsinin köməyi ilə iki dalğanın qarışması eksperimentində öz-özünə difraksiya və şüa bağlanması (beam coupling) hadisələri tədqiq olunur. Difraksiyanın effektivliyinin tətbiq olunan gərginlikdən, doldurma gücündən, doldurma/signal nisbətindən və qəfəs sabitindən asılılığı öyrənilmişdir. Eksperimentin nəticələri göstərir ki, maye kristala gümsülə nanohissəciklərinin əlavə

olunması onun optik qeyri-xəttiliyini əhəmiyyətli dərəcədə artırır. Sonrakı təcrübələr isə nümunədə yaranan holoqrafik difraksiya parçalanmasının xarici elektrik sahəsinin köməyi ilə idarə olunma imkanını nümayiş etdirir. Gümsülə əlavə edilmiş nematik maye kristal yuvacıda həmçinin fotorefraktiv qoşaşuabağlanma eksperimentləri yerinə yetirilmişdir. Alınan nəticələr fotorefraktiv maye kristalın holoqrafiyada və xəyalın emal olunmasında tətbiqi üçün böyük əhəmiyyət daşıyır.

Bütün sadalanan işlərdə müsbət dielektrik anizotropiyasına malik maye kristallardan (5CB, E7 və s.) istifadə olunmuşdur. Bizim təqdim etdiyimiz işdə mənfi dielektrik anizotropiyalı maye kristalda gümsülə nanohissəciklərinin köməyi ilə plazmon rezonans (LSPR) müşahidə olunmuş və onun idarə olunması mümkünlüyü göstərilmişdir.

Eksperiment



Şəkil 1.

İşdə istifadə olunan nematik maye kristal klassik MBBA (N-4-metoksibenziliden 4'-butilanilin) və onun homoloqu olan EBBA (N-4-etoksibenziliden 4'-butilanilin) maye kristallarının 1:1 nisbətində qarışığıdır. Qarışıq -10 °C və 46 °C temperatur intervalında nematik fazaya malikdir, dielektrik nüfuzluğunun anizotropiyası mənfidir:

$$\Delta\epsilon = \epsilon - \epsilon_{\perp} = 4,8 - 5,3 = -0,4$$

Bu, maye kristalda B-effekt (homeotrop-planar keçid) həyata keçirməyə imkan verir [13].

Gümsülə hissəcikləri ABŞ-nin US Nano Research firmasından əldə edilmişdir və 30-50 nm ölçülərə malikdir. Bizim təcrübələrimizdə gümsülə hissəciklərinin kolloiddəki çəki payı 0,5 % olmuşdur. Bu təqribən 0,045 % həcm payına uyğun gəlir. Belə bir konsentrasiyada gümsülə nanohissəcikləri arasındakı orta məsafə 300–500 nm olur. Məsələn, $d = 40\text{nm}$ ölçülü hissəciklər arasındakı məsafə

$$\begin{aligned} \bar{l} &= \frac{1}{\sqrt[3]{n}} = \sqrt[3]{\frac{V}{N_p}} = \sqrt[3]{\frac{m_{LC}}{\rho_{LC} \cdot m_p}} = \sqrt[3]{\frac{m_{LC}}{m_p} \cdot \frac{m_{op}}{\rho_{LC}}} = \sqrt[3]{\frac{m_{LC}}{m_p} \cdot \frac{\rho_p \cdot \frac{\pi}{6} d^3}{\rho_{LC}}} = \sqrt[3]{\frac{\pi}{6} \cdot \frac{m_{LC}}{m_p} \cdot \frac{\rho_p}{\rho_{LC}}} d \approx \\ &\approx \sqrt[3]{\frac{3}{6} \cdot \frac{m_{LC}}{0,005 m_{LC}} \cdot \frac{11}{1}} \cdot 40\text{nm} \approx 420\text{nm} \end{aligned}$$

Burada $N_p, n_p, \rho_p, m_p, m_{op}, d$ -uyğun olaraq, gümüş hissəciklərinin kolloiddəki sayı, konsentrasiyası, sıxlığı, ümumi kütləsi, bir hissəciyin kütləsi və hissəciyin diametridir. V, m_{LC}, ρ_{LC} – maye kristalın (eyni zamanda kolloidin) həcmi, kütləsi və sıxlığıdır.

Gümüş hissəciklərinin maye kristalda paylanması NATO CD-4800 ultrasəs disperqatorunda yerinə yetirilmişdir. Hər bir ölçmədən əvvəl qarışıq maye kristalın izotrop fazasında (50°C temperaturda) ən azı 2 saat silkələnir. Elektrooptik yuvacığın doldurulması və ölçmələr kolloid alınandan dərhal sonra yerinə yetirilmişdir, çünki gümüşlə maye kristal arasında mövcud olan böyük sıxlıq fərqə görə hissəciklərin tədricən aqreqasiyaya uğrayaraq çökməsi baş verir.

Həm dielektrik ölçmələr, həm də spektrofotometrik ölçmələr elektro-optik yuvacıqda yerinə yetirilmişdir. Elektrooptik yuvacıq çoxtəbəqəli (sendviç) quruluşu malik olub, bir-birindən dielektrik arakəsmə ilə ayrılmış, daxili səthi maye kristala elektrik sahəsi tətbiq etmək üçün şəffaf və keçirici (nazik indium-qalay oksidi) təbəqə ilə örtülmüş iki paralel müstəvi şüşə lövhədən ibarətdir. Maye kristal təbəqənin qalınlığı xüsusi teflon (bizim nümunələrdə 50mkm qalınlıqlı) arakəsmələrlə verilir. Elektro-optik yuvacığın orta qalınlığı (d) boş yuvacığın tutumunu ($C = \epsilon_0 S/d$) ölçməklə tapılır. $\epsilon_0 = 8,85 \text{ pF/m}$ – elektrik sabiti, S – yuvacığın işçi səthinin sahəsidir. Qalınlığın təyində dəqiqlik 0,5mkm-dir.

Planar oriyentasiya (maye kristal molekulları səthə paralel düzülürlər) almaq üçün (maye kristal molekulları elektrodların səthinə paralel yönəldirlər) elektrodların səthi xüsusi orientantla (polimid lakı) örtülür [14].

Homeotrop oriyentasiya (maye kristal molekulları səthə perpendikulyar düzülürlər) elektrodların səthinin sabunlu su ilə emalı yolu ilə alınır.

Yuvacığın maye kristalla doldurulması vakuumda izotrop fazada kapilyar üsulla həyata keçirilir.

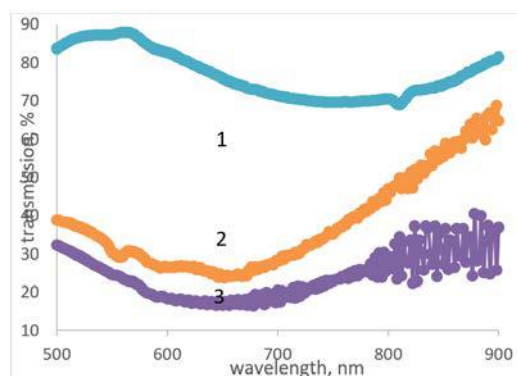
Yuvacığın elektrik tutumu E7-14 impedansmetrinin köməyi ilə ölçülür. Ölçmənin yerinə yetirildiyi test siqnalı 1 V amplituda və 1 kHs tezliyə malikdir. İmpedansmetr nümunəyə 20 V-a qədər sabit sürüşmə gərginliyi tətbiq etməyə imkan verir ki, bu da dielektrik nüfuzluğunun dəyişməsinə əsasən homeotrop-planar keçidin astana gərginliyini təyin etməyə imkan verir.

H8 – AgNPs kolloidində SLPR-nı müşahidə etmək üçün Analitic Yena (Almaniya) firmasının istehsalı olan SPECORD 250 Plus spektrofotometrindən istifadə olunmuşdur. Cihaz 190 nm – 1100 nm dalğa uzunluğu intervalında nümunənin işıqburaxma (və ya udulma) spektrini çəkməyə imkan verir. Ölçmələr zamanı dalğa uzunluğu 2nm addımla dəyişmişdir.

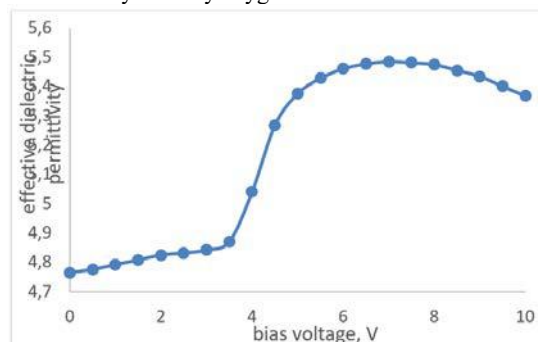
Eksperimental nəticələr və onların izahı

Əvvəlcə spektrofotometrə homeotrop oriyentasiya halında təmiz maye kristalın özünün və onun əsasında hazırlanmış kolloidin işıqburaxma spektrləri çəkilmişdir (şəkil 2). Göründüyü kimi, təmiz maye kristalla (1 əyrisi) müqayisədə kolloidin işıqburaxması əhəmiyyətli dərəcədə azdır (2 və 3 əyriyə). Bu, kolloiddəki gümüş hissəciklərinin ətrafında direktor sahəsinin təhrif olunması nəticəsində maye kristalın işığı daha güclü

səpməsi ilə bağlıdır. Bundan əlavə, kolloiddə 650-700nm dalğa uzunluğu intervalında zəif ifadə olunmuş udulma minimumu alınır ki, bu da gümüş nanohissəcikləri tərəfindən işıq dalğasının rezonans udulması ilə bağlıdır (LSPR). Rezonans pikinin kəskin alınmamasının səbəbi gümüş nanohissəciklərinin ölçülərinin eyni olmaması və onların qismən aqreqasiyaya uğramasıdır. Kolloidin işıqburaxma spektrində infraqırmızı oblastda müşahidə olunan küylər gümüş nanohissəciklərinin broun hərəkəti ilə bağlı yaranan dinamik qeyri-bircinsliyin spektrin uzundalğalı hissəsində yaratdığı təsirin daha güclü olması ilə izah oluna bilər.

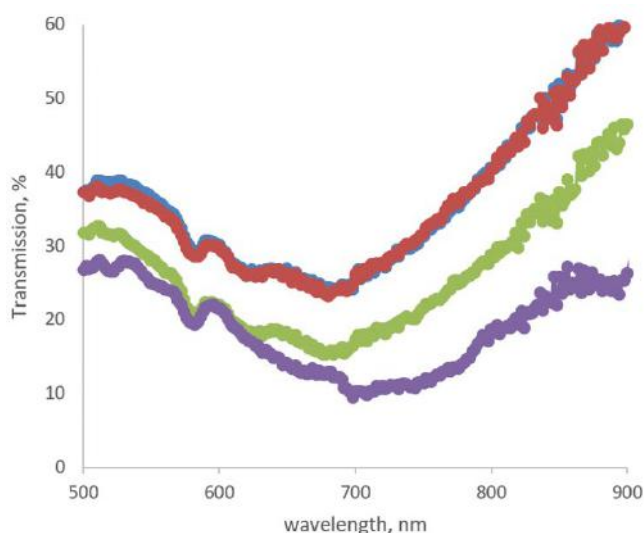


Şəkil 2. Təmiz maye kristalın (1 əyrisi) və maye kristal – gümüş nanokolloidinin işıqburaxma spektri (2 və 3 əyriyə). 2 - homeotrop, 3 – planar yönəlməyə uyğundur.



Şəkil 3. Maye kristal– gümüş nanokolloidinin effektiv dielektrik nüfuzluğunun xarici gərginlikdən asılılığı

Kolloiddə müşahidə olunan LSPR pikinin vəziyyətini idarə etmək olar. Bunun üçün yuvacığa elektrik sahəsi tətbiq etməklə elektro-optik effekt yaratmaq lazımdır. Maye kristal molekullarının uzun oxuna perpendikulyar yerləşmiş $-C=N=C-$ və $-C-O-C-$ dipol momentinə malik qrupların xarici elektrik sahəsi ilə qarşılıqlı təsiri nəticəsində sahənin müəyyən qiymətindən başlayaraq molekulların dönməsi baş verir. Bu hadisə homeotrop-planar keçid və ya B-effekt adlanır. Bu keçid nəticəsində astana gərginliyi adlanan müəyyən gərginlikdən başlayaraq (bizim baxdığımız halda 3,5 V) maye kristalın effektiv dielektrik nüfuzluğu dəyişir (şəkil 3). Bu isə öz növbəsində plazmon pikinin vəziyyətinin dəyişməsinə səbəb olur (şəkil 4). Qrafiklərin təhlili əsasında plazmon plazmon pikinin minimumunun gərginlikdən asılılığı cədvəl şəklində də göstərilmişdir.



Şəkil 4. Maye kristal–gümüş nanokolloidinin işıqburaxma spektrinin xarici gərginlikdən asılılığı. İlkin ($U=0$ olduqda) oriyentasiya homeotropdur. Göy – $U=0$, qırmızı – $U=3$ V, yaşıl – $U=6$ V, bənövşəyi – $U=9$ V.

Kolloidə tətbiq olunan gərginlik, V	0	3	6	9
Plazmon udulmasının minimumuna uyğun gələn dalğa uzunluğu, nm	678	678	684	698

Göründüyü kimi, 6 V-dan başlayaraq plazmon pikinin maksimumu uzun dalğalar tərəfə sürüşür və gərginlik artdıqca bu sürüşmə daha böyük olur. Nümunəyə 9 V gərginlik verdikdə sürüşmə 20 nm olmuşdur. Daha böyük gərginliklərdə sürüşmədəki bu artma davam etmir,

hətta azalır, çünki elektrohidrodinamik dayanıqsızlıq (turbulent hərəkət) başlayır.

Yuxarıda qeyd olunduğu kimi, plazmon pikinin sürüşməsinə səbəb homeotrop-planar keçid nəticəsində gümüş nanohissəciklərinin ətrafında şəraitin (dielektrik nüfuzluğunun, sındırma əmsalının və s.) dəyişməsidir.

- [1] J.S. Blakemore, Solid State Physics, Cambridge University Press, 2nd Ed, 1985, 507 p
- [2] Handbook of Surface Plasmon Resonance, Ed. by R.B.M. Schasfoort, 2nd Ed, The Royal Society of Chemistry, 2017, 554 pp.
- [3] K. Ideta, T. Arakawa, Surface plasmon resonance study for the detection of some chemical species, Sensors and Actuators B: Chemical, V. 13, 1–3, 1993, 384-386
- [4] K.A. Willets, R.P. Van Duyne, Localized surface plasmon resonance spectroscopy and sensing. Annual Review of Physical Chemistry, 2007, v.58, p.267–297
- [5] I.Yakovkin, V.Reshetnyak, Controlling plasmonresonance of gold and silver nanoparticle arrays with help of liquid crystal, Photonics, 2023, v.10, 1088-1100
- [6] L.Mahmudin, E.Suharyadi, A.Bambang, S.Utomo, K.Abraha, Optical properties of silver nanoparticles for surface plasmonresonance (SPR)-based biosensor applications, Journal of Modern Physics, 2015, v.6, 1071-1076
- [7] K. Shrivastava, S. Sahu, G.K. Patra, N. K.Jaiswal and R. Shankar, Localized surface plasmon resonance of silver nanoparticles for sensitive colorimetric detection of chromium in surface water, industrial waste water and vegetable samples, Analytical Methods, Royal Society of Chemistry, 2016, v. 8, 2088–2096
- [8] X.F. Zhang, Zh.G. Liu, W. Shen, S. Gurunathan, Silver Nanoparticles: Synthesis, Characterization, Properties, Applications, and Therapeutic Approaches, International Journal of Molecular Science, 2016, v.17, p.1534-1567
- [9] A. Loiseau, V. Asila, G. Boitel-Aullen, M. Lam, M. Salmain, S.Boujday, Silver-based plasmonicnanoparticles for and their use in biosensing, Biosensors, 2019, v.9, p.78-117
- [10] Y. Zhang, Q. Liu, H. Munderoor, Y. Yuan, I.I. Smalyukh, Metal nanoparticle dispersion, alignment, and assembly in nematicliquid crystals for applications in switchable plasmoniccolor filters and E-polarizers, ACS Nano, 2015, v.9, № 3, p.3097-3108
- [11] T. Miyama, H. Shiraki, Y. Sakai, T. Masumi, S. Kundu, Y. Shiraishi, N. Toshima, S. Kobayashi, Dielectric properties and electro-optic characteristics of TN-LCDs doped with metal nanoparticles exhibiting Frequency modulation response accompanying fast response, Molecular Crystals and Liquid Crystals, 2005, v.433, № 1, p.29-40
- [12] J.Niedziółka-Jönsson, S.Mackowski, Plasmonics with metallic nanowires, Materials, 2019, v.12, № 9, 1418-1438

- [13] X. Li, Ch. Yang, Q. Wang, D. Jia, L. Hu, Z. Peng, L. Xuan, Enhanced birefringence for metallic nanoparticle doped liquid crystals, Optics Communications, 2013, v.286, 224–227
- [14] Y-Y.Jiang, J.Li,L-Y.Huang, Beam coupling characteristics innematic liquid crystal doped withsilver nanoparticles, Journal of Nonlinear Optical Physics & Materials, 2008, v. 17, № 4, 377–385
- [15] L.M. Blinov, V.G. Chigrinov, Electro-optic effects in liquid crystal materials, Springer-Verlag, New York, Inc.,1994, 475p.
- [16] K. Takatoh, M. Hasegawa, M. Koden, N. Itoh, R. Hasegawa, M. Sakamoto, Alignment Technologies and Applications of Liquid Crystal Devices, Taylor & Francis, London and New York, 2005, 269p.

A.R. Imamaliyev, G.F. Ganizade, Z.I. Budagov, G.M. Muradova

CONTROLLED SURFACE LOCALIZED PLASMON RESONANCE IN LIQUID CRYSTAL - SILVER NANOPARTICLE COLLOID

This work investigates localized surface plasmon resonance (LSPR) in a colloid consisting of silver particles with a size of 80–100 nm and a liquid crystal with negative dielectric anisotropy. For a 50 µm thickness cell of and homotropic orientation, the SPR absorption peak is in the red region of the spectrum (678 nm). Using an electric field, it is possible to shift the peak toward the long-wave side. For example, when 9 V is applied to the cell, the maximum absorption peak occurs at 698 V. The shift of the LPPR peak is explained by the rotation of liquid crystal molecules around silver particles under the action of an electric field.

Qəbul olunma tarixi: 29.09.2025