



AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASININ PREZİDENTİ YANINDA ELMİN İNKİŞAFI FONDU

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Elmin İnkişafı Fondunun
“Elm-Təhsil İnteqrasiyası” məqsədli qrant müsabiqəsinin
(EIF/MQM/Elm-Təhsil-1-2016-1(26)) qalibi olmuş
layihənin yerinə yetirilməsi üzrə

YEKUN ELMİ-TEXNİKİ HESABAT

Layihənin adı: **Laylı quruluşlu A3B6 və A13B35C69 tipli nanometr qalınlıqlı kristallar əsasında fotoelektrik çeviriciləri**

Layihə rəhbərinin soyadı, adı və atasının adı: **Rəhimov Sədiyar Soltan oğlu**

Qrantın məbləği: **27 800 manat**

Layihənin nömrəsi: **EIF/MQM/Elm-Təhsil-1-2016-1(26)-71/01/1-M-02**

Müqavilənin imzalanma tarixi: **19 avqust 2020-ci il**

Qrant layihəsinin yerinə yetirilmə müddəti: **6 ay**

Layihənin icra müddəti (başlama və bitmə tarixi): **01 oktyabr 2020-ci il – 01 aprel 2021-ci il**

Diqqət! Bütün məlumatlar 12 ölçülü Arial şrifti ilə, 1 intervalla doldurulmalıdır

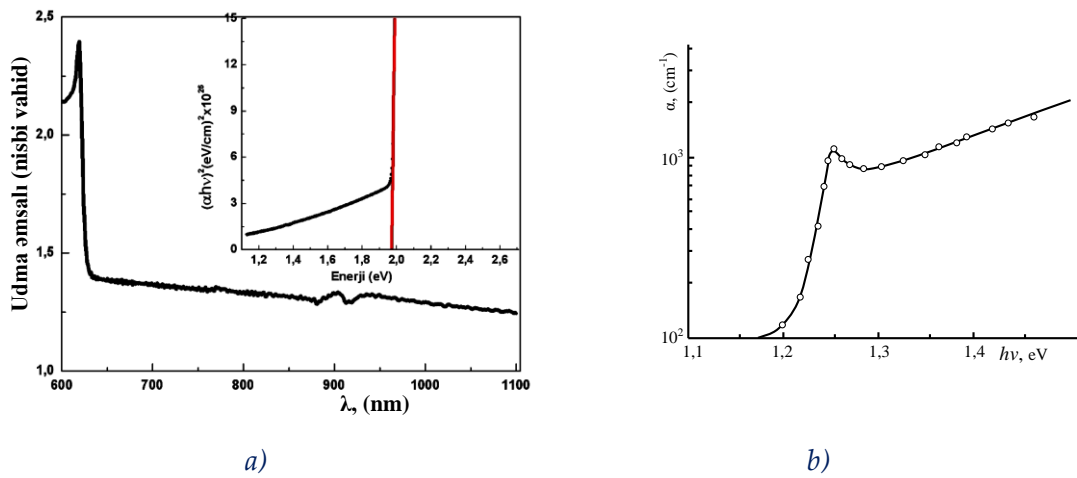
Diqqət! Uyğun məlumat olmadığı təqdirdə müvafiq bölmə boş buraxılır

Hesabatda aşağıdakı məsələlər işıqlandırılmalıdır:

1 Layihənin həyata keçirilməsi üzrə yerinə yetirilmiş işlər, istifadə olunmuş üsul və yanaşmalar Mikro- və optoelektronikada tətbiq olunan heteroquruluşların və çoxlaylı quruluşlu cihazların texnologiyalarının inkişafı üçün mühüm əhəmiyyət kəsb edən nazik təbəqələrin formalaşması prosesinin tədqiqi, adətən, maddənin qazabənzər formasından bərk cismin səthinə çökdürülməsi hadisəsi çərçivəsində aparılmışdır. Bir qayda olaraq, əsas fikir altlıq qismində götürülmüş bərk cisim ya kristal, ya da amorf quruluşlu olmaqla nazik təbəqənin formalaşmasında yalnız temperaturun hesabına təsirinin roluna yönəldilmişdir. Məlumdur ki, altlığın temperaturunun optimal olaraq yuxarı qiymətlərdə seçilməsi səthə adsorbsiya olunan atom və ya molekulların yürüklüyünü artırmağa və bununla formalaşan nazik təbəqənin quruluşunun nizamlı və periodikliyinə nail olunur. Lakin, mürəkkəb kimyəvi tərkibli maddələrin nazik təbəqələrinin alınmasında yüksək temperatur təbəqənin stexiometrik tərkibinin dəyişməsinə gətirir ki, bununla da nazik təbəqənin formalaşması prosesində bir sıra problemlə məsələlər ortaya çıxırlar.

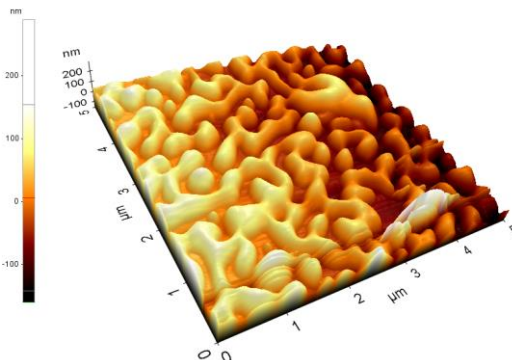
İlk etapda A^3B^6 və $A^{13}B^{35}C^6$ tipli yarımkəçirici birləşmələrin sintezi stexiometrik nisbətlərdə, ümumi çəkisi 20 qr olan ilkin komponentlərin kvars ampulalara doldurulub, havası 0,15 Pa təzyiqlə sorulduqdan sonra ağzı bağlanmış ampulalarda aparılmışdır. Sintez üçün nəzərdə tutulmuş elektrik sobasında hər bir birləşmənin erimə temperaturundan 15-20 dərəcə artıq temperatur alındıqdan sonra ampula sobaya yerləşdirilmişdir. Sintez prosesi komponentlərin

əridilərək qarşılıqlı ekzotermik reaksiyası nəticəsində aparılmışdır. Alınmış birləşmələr maye halında 4 saat müddətində vibratorla silkələnərək bircins hala gətirildikdən sonra 30 K/saat sürətlə soyudulmuşdur. Ampula sındırılaraq çıxarılmış maddə polikristallik külçədən ibarət olmuşdur. Birləşmələrin monokristallarının yetişdirilməsi Bridjeman üsulunun horizontal variantında həyata keçirilmişdir. Yetişdirilmiş monokristalların saf hissələri mexaniki üsulla kəsilib arılmış və onlardan elmi-tədqiqat üçün nümunələr hazırlanmışdır. A^3B^6 tipli birləşmələrdən GaSe, InSe və GaS, $A^1_3B^3_5C^6_9$ tipli birləşmələrdən isə $Cu_3In_5S_9$ birləşmələri laylı kristal quruluşa malik olduqlarına görə mexaniki üsulla onlardan bir neçə mikrometr qalınlıqlı təbəqələr çıxarmaq mümkün olmuşdur. Belə üsulla hazırlanmış nümunələrdə optik udma spektrləri tədqiq olunmuşdur. Şəkil 1.-də GaSe və InSe kristallarının udma əmsallarının spektrləri təsvir olunmuşdur. Şəkildən görüldüyü kimi spektrlərin fundamental udma oblastının uzundalğalı kənarında iti eksiton pikləri müşahidə olunmuşdur və bu piklərin enerjiləri eksitonların rabitə enerjiləri nəzərə alınmaqla kristalların qadağan olunmuş enerjilərinin qiymətlərinə tam uyğun gəlirlər. Bununla təsdiq olunur ki, alınan kristallar kifayət qədər mükəmməl kristal quruluşa malikdirlər və kimyəvi safdırlar.



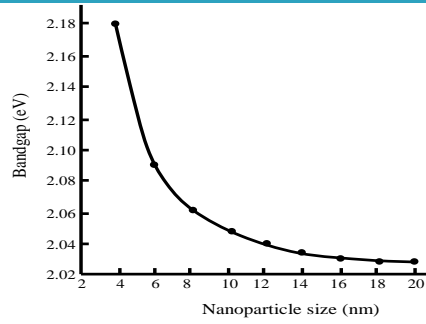
Şəkil 1. GaSe(a) və InSe(b) kristallarının udma spektrləri.

Mexaniki üsulla GaSe kristalını təbəqələrə ayırmaqla qalınlığı 100-200 mkm-ə qədər olan löhvələr hazırlanmış və onlar üzərində ion implantasiyası və reaksiya (SİLAR) üsulu ilə nanozərrəciklər alınmışdır. Nanozərrəcikli quruluşun AFM təsviri şəkil 2.-də verilmişdir.



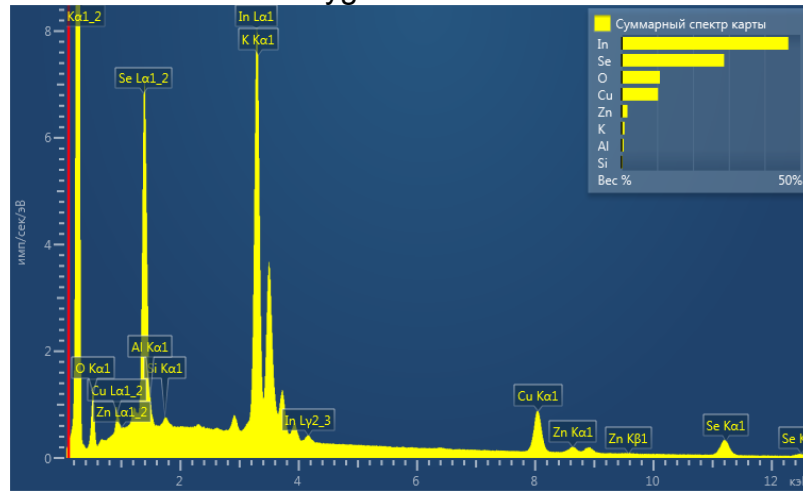
Şəkil 2. GaSe kristalı üzərində nanoquruluşun AFM görüntüsü.

GaSe(kristal)- GaSe (nanozərrəcik) quruluşlu lüminessensiya spektrləri tədqiq olunmuş və məxsusi şüalanma zolağının maksimumuna görə hesablanmış qadağan olunmuş zonanın eni hesablanaraq, bu parametrin zərrəciklərin ölçülərindən asılılıq qrafiki qurulmuşdur (şəkil 3).



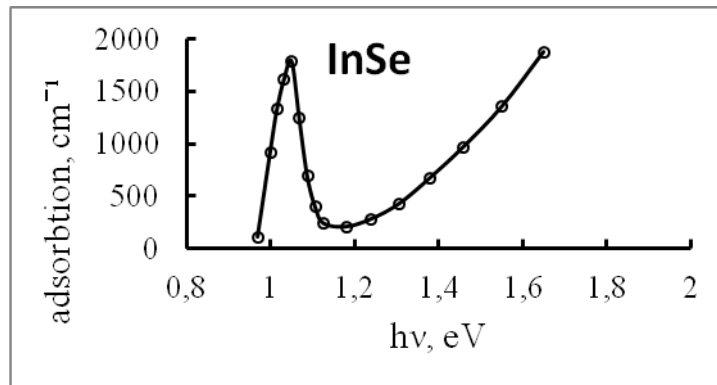
Şəkil 3. GaSe nanozərrəciklərinin qadağan olunmuş zonanın eninin zərrəciklərin ölçülərindən asılılığı.

İnSe nazik təbəqələri vakuumda termik buxarlandırma üsulu ilə GaS kristal təbəqəsi və maye altlıq üzərində yetişdirilmişdir. Maye altlıq üzərində yetişdirilmiş İnSe təbəqəsinin EDAX-rentgen şüalarının dispers enerji spektroskopiyası tədqiq edilmişdir (şəkil 4). Küte nisbətlərinə görə aparılan hesablamalar göstərdi ki, maye altlıq üzərində yetişdirilmiş təbəqənin tərkibi İnSe birləşməsinin stexiometrik nisbətində uyğundur.



Şəkil 4. Maye altlıq üzərində yetişdirilmiş İnSe təbəqəsinin EDAX spektri.

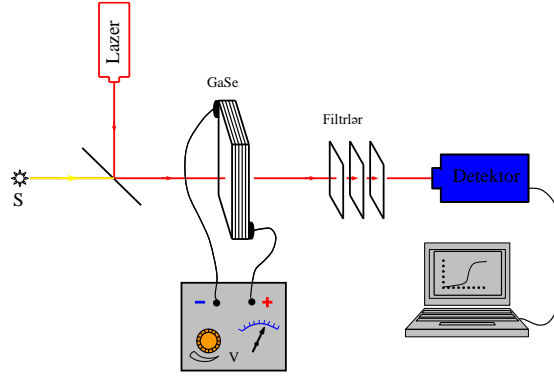
Maye altlıq üzərində yetişdirilmiş təbəqənin qalınlığı 63 nm təşkil etmişdir. Təbəqənin udma əmsalının spektri şəkil 5-də təsvir edilmişdir. Spektrdən görüldüyü kimi udma əmsalının uzundalğalı kənarındakı iti və hündür pik eksiton pikidir. Bu təbəqədə eksitonun rabitə enerjisinin qiyməti monokristal İnSe təbəqəsindəkindən 80 meV çoxdur. Belə böyük fərqin maye altlıq üzərində yetişdirilmiş təbəqənin kristal quruluşunun Bridjman üsulu ilə yetişdirilmiş monokristal quruluşa nisbətən daha mükəmməl olması ilə izah olunur.



Şəkil 5. Maye altlıq üzərində yetişdirilmiş İnSe təbəqəsinin udma əmsalının spektri.

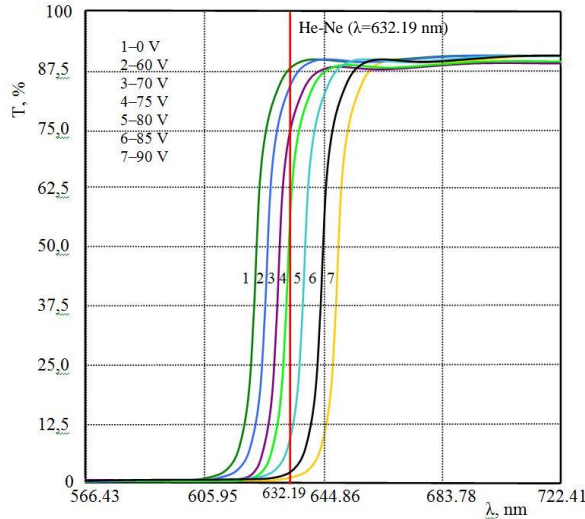
GaSe, GaS və İnSe nazik təbəqələrində udma əmsalının kənarının temperaturdan kəskin

asılı olduğu müəyyən edilərək bu xüsusiyyətlər əsasında lazer şüalanmaları üçün intensivliyi kəsilməz olaraq tənzimləyən qurğu hazırlanmışdır. Kristala gərginlik verməklə $E(T)$ asılılığı ilə yanaşı sahənin də təsiri çərçivəsində udma kənarının sürüşməsinin praktiki tətbiqi təklifi irəli sürülmüşdür. Bu təkilifin praktiki həyata keçirilməsi üçün şəkil 6.-da təsvir olunmuş sxem üzrə qurğu yığılmışdır. He-Ne qaz lazerinin 0,633 mkm dalğa uzunluqlu şüalanması GaSe kristalının otaq temperaturundakı qadağan olunmuş zonasının eninə uyğun dalğa uzunluğundan (0,610 mkm) böyük olduğundan şüalanma kristalda çox az udularaq keçir. Kristala 60-100 V arasında gərginlik verdikdə udma zolağının kənarı 0,610 mkm-dən 0,638 mkm-ə qədər dəyişir və nəticədə lazer şüalanması kristal tərəfindən kəskin udulur.



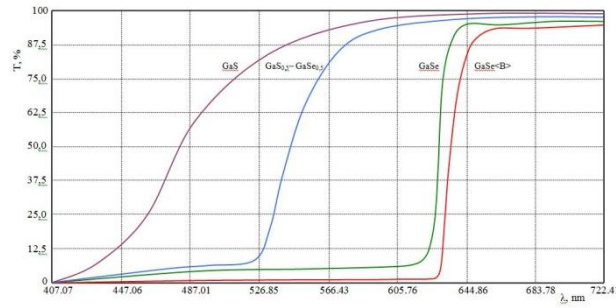
Şəkil 6. Təcrübi qurğunun sxemi.

Şəkil 7-də GaSe nazik təbəqəsinin fundamental udma kənarının kristala tətbiq olunan gərginlikdən asılılığı təsvir olunmuşdur. Müxtəlif gərginliklərdə spektrin lazer xəttini kəsməsi şüalanmanın hansı dərəcədə udulmasını müəyyən edir. udulan enerji əsasən fotocərəyanın enerjisi kimi dövrəyə verilir.



Şəkil 7. GaSe nazik təbəqəsinin udma kənarının kristala tətbiq olunan gərginlikdən asılılığı.

Təsvir olunan bu prinsiplə işləyən qurğu lazer şüalanmasının intensivliyini maksimal qiymətdən sıfıra qədər kəsilməz olaraq elektrik sahəsi vasitəsilə tənzimləməyə imkan verir. Şəkil 8-də GaSe, GaS, GaSe_{0,5}- GaS_{0,5} və GaSe nazik təbəqələrinin udma spektrləri təsvir olunmuşdur. Bu kristallar əsasında da şəkil 6-da təsvir olunan qurğu hazırlamaqla dalğa uzunluğu kristalın fundamental udma spektrinin kənarına uyğun gələn lazer şüalanması üçün intensivlik tənzimləyicisi hazırlamaq olar.



Şəkil 8.

Vakuumda termik buxarlandırma üsulu ilə $Ag_3In_5Se_9$ və $Cu_3In_5S_9$ kristallarının da müxtəlif altlıqlar üzərində nazik təbəqələri alınmışdır. Alınan nümunələr üzərində mikroquruluş və fiziki-kimyəvi analizlər üzrə tədqiqat işləri davam etdirilir.

Şəkil 6-da təsvir olunan qurğu 13-cü Azərbaycan Beynəlxalq Təhsil sərgisində nümayiş etdirilmişdir.

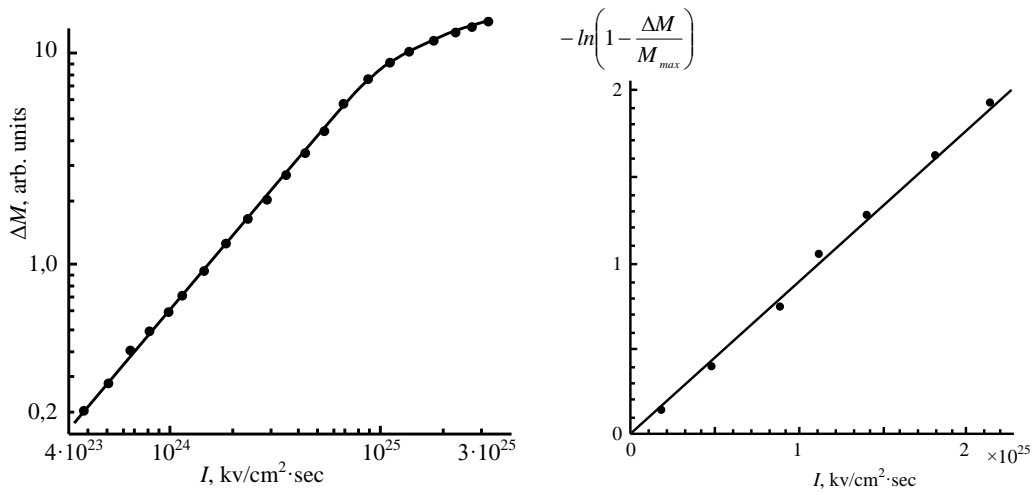
Layihənin sonrakı etapında lazer şüalanmasının təsiri ilə GaSe və InSe nazik təbəqələrində udulma və lüminessensiya spektrləri tədqiq edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, tədqiq olunan nazik təbəqələrdə udma zolağının uzundalğalı kənarı düzünə optik keçidlər hesabına formalaşır. GaSe və InSe nazik təbəqələrinin qadağan olunmuş zonasının eni üçün uyğun olaraq 2,03 eV və 1,32 eV qiymətləri müəyyən edilmişdir. Ne:YAG lazerinin ikinci harmonikasının kiçik intensivliklərində mücahidə olunan lüminessensiya spektri kristalların fundamental udma zolağının kənarını əhatə edən oblastda yerləşir. Lakin, yüksək optik həyəcanlanmada spektrin uzundalğalı oblastında yarımənə $\sim 10 \text{ \AA}$ olan ensiz lüminessensiya zolağı təsbit edilmişdir. Müşahidə olunan şüalanmanın yaranma mexanizmi lazer şüalanması hesabına zonaların effekti ilə izah olunmuşdur.

Məlumdur ki, yüksək intensivlikli lazer şüalanmasının təsiri ilə yarımkeçiricidə yüksək konsentrasiyalı yükdaşıyıcılar yaratmaq olur. Belə halda sərbəst yükdaşıyıcılarda işığın udulmasını asanlıqla müşahidə etmək və bununla yaranan effektləri öyrənmək olar.

Nazik təbəqədən keçən İQ-işığın intensivliyinin dəyişməsinə $-\Delta M(t)$, aşağıdakı kimi ifadə etmək olar:

$$\Delta M(t) = M_{max} \cdot \left[1 - \exp\left(-\sigma_{n+p} \int_0^d \Delta n(x, t) dx\right) \right],$$

burada, σ_{n+p} - qeyri-tarazlıqlı electron və deşiklər tərəfindən işığın udulmasının enkəsiyinin cəmlənmiş kəmiyyətidir, M_{max} - yüksək optik həyəcanlanmada siqnalın modulyasiyasının kəmiyyətidir, $\Delta n(x, t)$ - nümunənin səthindən x dərinliyində qeyri-tarazlıqlı cütlərin konsentrasiyasıdır. Şəkil 9-da InSe nazik təbəqəsində İQ- işığın modulyasiya siqnalının, lazer şüalanmasının intensivliyindən asılılığı təsvir olunmuşdur.



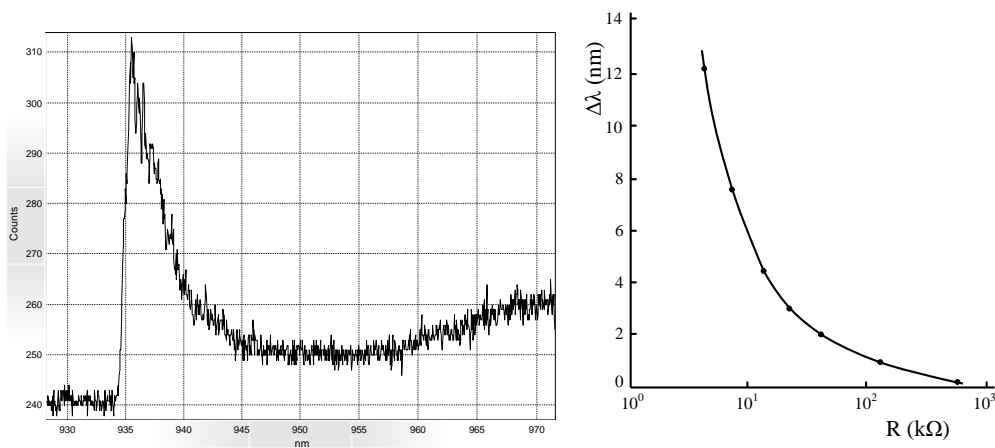
Şəkil 9. a) İnSe-də udulmanın modulyasiya siqnalının həyəcanlaşmasının intensivliyindən asılılığı, b) $\ln\left(1 - \frac{\Delta M}{M_{max}}\right)$ – kəmiyyətinin həyəcanlanmanın intensivliyindən asılılığı.

Modulyasiya kəmiyyətini aşağıdakı kimi də ifadə etmək olar:

$$\ln\left(1 - \frac{\Delta M}{M_{max}}\right) = -(1 - R)\sigma_{n+p}It_u,$$

burada, $\Delta n(x, t_u) = (1 - R)\alpha It_u e^{-\alpha x}$ - ifadəsi nəzərə alınmışdır. Şəkil 9 (b)- də təsvir olunmuş asılılığa görə $\sigma_{n+p} = 2,4 \cdot 10^{-18} \text{ cm}^2$ qiyməti hesablanmışdır. İQ- işığın modulyasiya siqnalının relaksasiya əyrisindən kvadratik rekombinasiyanın əmsalı hesablanmışdır: $\gamma = 1,4 \cdot 10^{-15} \text{ cm}^{-3} \cdot \text{cek}^{-1}$. Modulyasiya siqnalının relaksasiya müddətinin kiçik olması imkan verir ki, İnSe nazik təbəqəsi İQ- oblastda işləyən impuls lazerlərinin şüalanmasını qeyd edə bilən fotodetektorlar hazırlansın.

İnSe nazik təbəqəsində lazer şüalanmasının təsiri ilə lüminessensiya spektrinin uzunalğalı kənarının kristalın müqavimətindən asılılığı tədqiq edilmişdir. Şəkil 10-da təsvir olunan qrafikdə $\Delta\lambda(R)$ asılılığının müəkkəb xarakterli olduğu göstərilmişdir.



Şəkil 10. a) Nd:YAG($\lambda=532 \text{ nm}$) lazerinin təsiri ilə İnSe nazik təbəqəsində lüminessensiya spektri, b) uza zolağının kənarının sürüşməsinin- ($\Delta\lambda$), nümunənin müqavimətindən asılılığı.

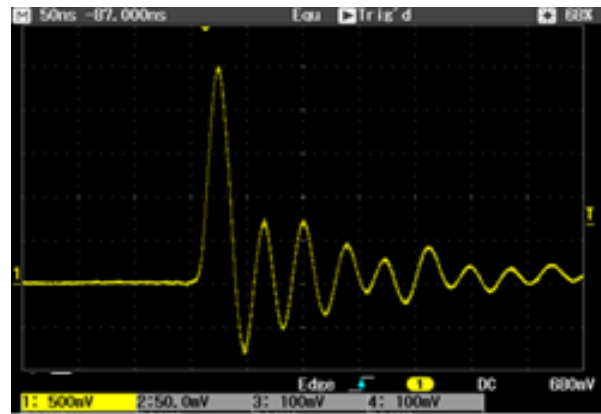
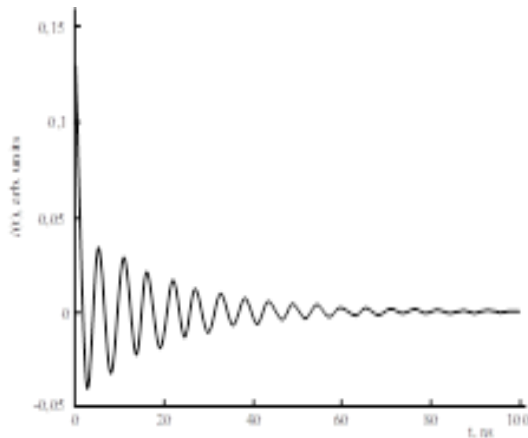
İfrat nazik İnSe təbəqəsinin VAX- da 400 V/sm sahədən yuxarıda cərəyan doymasının müşahidə olunması katoddan elektronların məhdud sayda injeksiya olunması ilə izah olunmuşdur. Yüksək intensivlikli işıq impulsu ilə nazik təbəqə işıqlandıqda qeyri-tarazlıqlı

yükdaşıyıcıların konsentrasiyası da doyma halına çatır. İnSe nazik təbəqəsində elektronların yürüklüyü dəşiklərinkindən çox olduğundan təbəqəyə təbəqəyə tətbiq olunmuş elektrik sahəsinin təsiri ilə elektronlar ekstraksiya olunurlar və nəticədə nazik təbəqədə dreyf tutumu yaranır. İşıq impulsu kəsildikdən sonra fotocərəyanın relaksasiyasına qeyri-tarazlıqlı yükdaşıyıcılardan ibarət olan selin relaksasiyası kimi baxmaq olar. Belə relaksasiyanı dissipativ selin relaksasiyası kimi qəbul edib, Maksvell – Kattaneo tənliyini tətbiq etmək olar. Nəticədə relaksasiya qanunauyğunluğu aşağıdakı düsturla ifadə olunur:

$$i = Ae^{-\frac{t}{\tau}} - A'e^{-\delta t} \cos \omega t,$$

Burada, $A = \frac{vq_0}{\ell}$, $A' = \frac{q'_0 \sigma S}{c\ell}$, v - elektronun dreyf yürüklüyüdür, q_0 – lazerin təsiri ilə yaranmış qeyri-tarazlıqlı elektronların yükü, q' - dreyf tutumundakı yüklər, τ - qeyri-tarazlıqlı elektronların yaşama müddəti, δ – sönmənin loqarifmik dekrementi, S - təbəqənin en kəsiyi, ℓ - kontaktlar arasındakı məsafədir.

Şəkil 11 (a)-da fotocərəyanın relaksasiyasının $A = 0,05$; $A' = 0,05$; $\tau = 0,5$ ns; $\delta = 0,05$ ns⁻¹ və $\omega = 20$ ns qiymətlərində nəzəri hesablanmış qrafik təsvir edilmişdir.



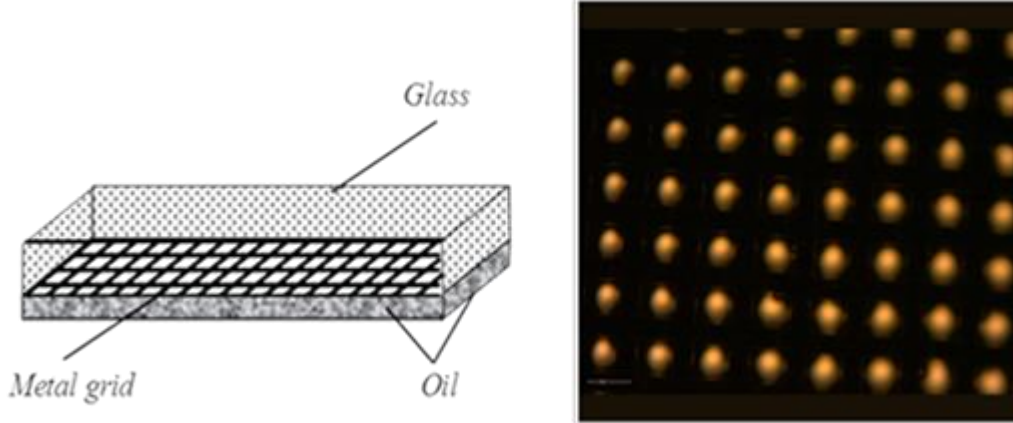
Şəkil 11. a) Maksvell – Kattaneo tənliyini tətbiq etməklə fotocərəyanın relaksasiya əyrisinin nəzəri hesablanmış qrafiki; b) ultrazik İnSe təbəqəsinin fotocərəyanının ossilloqramı.

Şəkil 11 (b)-də Nd:YAG($\lambda = 532$ nm) lazerinin 10 ns davamlı impulsunun təsiri ilə qalınlığı 130 nm olan İnSe nazik təbəqəsində fotocərəyanın generasiya və relaksasiya əyrisi təsvir olunmuşdur. Fotocərəyanın relaksasiyası rekombinasiya və cərəyan rəqsi prosesləri ilə müşayiət olunur. Rekombinasiya prosesində qeyri-tarazlıqlı yükdaşıyıcıların yaşama müddəti 3 ns təşkil edir. Bununla belə nəticəyə gəlinir ki, ultrazik İnSe təbəqəsi yüksək tezlikli fotoelektrik çeviricisi kimi istifadə oluna bilər.

Qrafenin kəşfindən sonra ikiölçülü kristalların alınması və onların fiziki xassələrinin tədqiqi geniş elmi marağa səbəb olmuşdur. Qrafendən fərqli olaraq, qadağan olunmuş zonaya malik olan və ətraf mühitin təsirinə dayanıqlı olan İnSe 2D-kristalının fiziki xassələrinin tədqiqi nəticəsində praktiki əhəmiyyət kəsb edən bəzi xüsusiyyətləri aşkar edilmişdir. Məlum olmuşdur ki, mexaniki üsulla alınmış İnSe tetralaylarında elektronların yürüklüyü 10^4 sm²/V·s tərtibində qiymətlərə malikdir. Belə materiallar ifrat yüksək tezlikli cihazların hazırlanması üçün çox əlverişlidir. Lakin, mexaniki üsulla monokristal külçədən ayrılmış İnSe 2D-kristalları çox kiçik (bir neçə mm²) sahəyə malik olur. Bizim tərəfimizdən nanometr qalınlıqlı İnSe nazik təbəqələri 1 sm² sahəli olmaqla, vakuumda maddəni termik buxarlandıraraq maye səth üzərinə çökdürməklə alınmışdır. Bu üsulda maye səthə çökmüş atom və ya molekulların

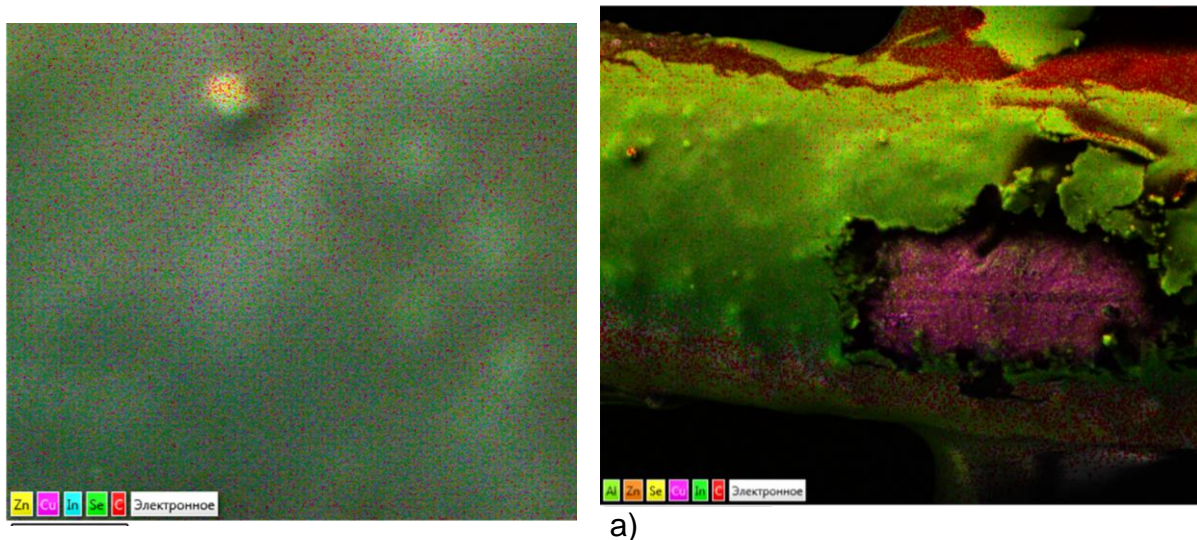
yürüklüyünü artırmağa ehtiyac qalmır və zərrəciklər sərbəst olaraq bir-biri ilə qarşılıqlı təsirdə olurlar.

Bunun üçün layihənin növbəti etapında yüksək vakuumda (10^{-7} mm.c.st.) *InSe* birləşməsi termik buxarlandırılaraq qazabənzər fazaya keçirilməklə ona kimyəvi neytral olan yağın müstəvi səthinə çökdürülmüşdür. Maye səth üzərinə çökmüş *In*, *Se* ionları və *InSe* molekulları biri-birindən asılı olmayan *InSe* ikiölçülü adacıqlar halında yaransalar da, maye səthində onlar birləşərək ostvald yetişdirimi mexanizmi üzrə vahid ikiölçülü kristal əmələ gətirirlər. yetişdirilmiş nazik təbəqəni mayenin səthindən götürmək üçün maye daxilində yerləşdirilmiş metal tordan istifadə olunmuşdur. Şəkil 12-də maye müstəvi səthə malik olan altlığın sxematik quruluşu və metal tor üzərində alınmış *InSe* nazik təbəqəsinin şəkli verilmişdir.



şəkil 12.

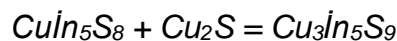
Metal tor üzərinə çökdürülmü. Maddənin tərkib analizi skanedici elektron mikroskopunda aparılmışdır. Şəkil 13-də metal tor üzərindəki *InSe* nazik təbəqəsinin enerjidispers rentgen spektroskopiyayaüsulu ilə alınmış təsvirləri verilmişdir. Şəkil 13a-da torun məftili üzərində nazik təbəqənin tərkibcə bircins olduğu aydın görünür. Şəkil 13b-də xüsusu olaraq mexaniki zədələnmiş nazik təbəqənin təsviri verilmişdir. Bu təsvir üzərində aparılmış ölçmələrdən



Şəkil 13.

təbəqənin qalınlığının 180 nm olduğu müəyyənedilmişdir. EDX spektrlərinin analizindən nazik təbəqənin *InSe* birləşməsi olduğu təsdiqlənmişdir.

Laylı quruluşlu $Cu_3In_5S_9$ birləşməsinin sintezi aşağıdakı komponentlərin birlikdə əridilərək gedən reaksiyası ilə aparılmışdır:

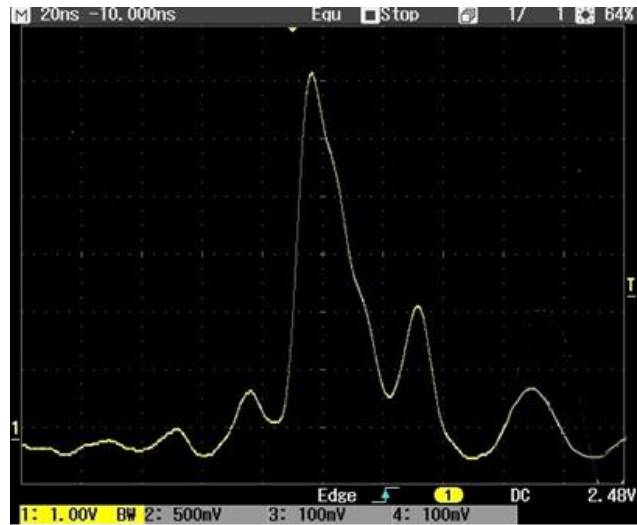


$CuIn_5S_8$ nazik təbəqəsinin fotoelektrik və lüminessent xassələri tədqiq edilmişdir. 100...650 K temperatur intervalında kristalın ftohəssaslığının temperaturdan asılılığı və yükdaşıyıcıların səpilmə mexanizmi tədqiq olunmuşdurlar. Müəyyən edilmişdir ki, göstərilən temperatur

intervalında temperaturun artması ilə kristal təbəqənin həssaslığı müntəzəm olaraq artır. 300K temperaturdan yüksəkdə yükdaşıyıcılar optik fononlardan və ionlaşmış aşqar mərkəzlərdən səpilir. $CuIn_5S_8$ kristal təbəqəsində yüksək səviyyəli optik həyəcanlaşma ilə yaranan fotocərəyanın relaksasiyası çox qısa müddətdə (35 ns) baş verdiyi müəyyən edilmişdir (şəkil 14). Fotocərəyanın relaksasiyası mexanizmini izah etmək üçün Maksvell- Kattaneo yaxınlaşmasından istifadə olunmuşdur. Fotocərəyanın zamandan asılılığı üçün

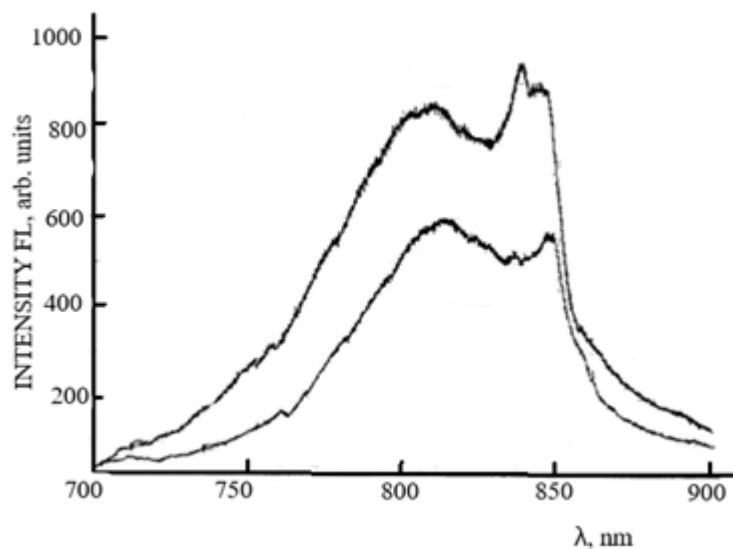
$$i = jS = \frac{vq_0}{\ell} e^{-\frac{t}{\tau}} - \frac{q_0\sigma S}{c\ell} e^{-\delta t} \cos \omega t,$$

düsturu alınmışdır. Burada, v - elektronların dreyf sürəti, q_0 -lazer şüasının təsiri ilə generasiya olunmuş yüklərin miqdarı, ℓ - nümunənin uzunluğu, τ - elektronların yaşama müddəti, q_0' - dreyf tutumunun yükü, C - dreyf tutumu, δ - sönmənin loqarifmik dekrementidir.



Şəkil 14.

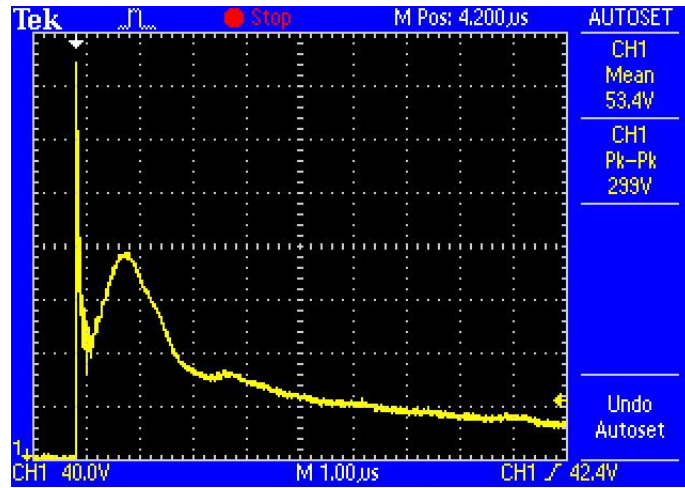
$CuIn_5S_8$ kristal təbəqəsinin 535 nm dalğa uzunluqlu lazer şüalanması ilə həyəcanlaşdırdıqda yüksək intensivlikli lüminessensiya müşahidə edilmişdir. 700...900 nm intervalında müşahidə olunan lüminessensiya spektrinin üç şüalanma zolağı hesabına formalaşdığı müəyyən edilmişdir (şəkil 15). Bu şüalanma zolaqları 1,52 eV, 1,48 eV və 1,465 eV enerjili optik keçidlər hesabına baş verdikləri göstərilmişdir. Lazer şüalanmasının intensivliyinin



Şəkil 15.

artması ilə ikinci üçüncü şüalanma zolaqlarının birinci zolağa nisbətən daha intensiv güclənməsi müşahidə olunmuşdur. Kristalın xassələrindəki xüsusiyyətlər onun əsasında ifrat yüksək tezlikli fotodetektorların hazırlanmaq və İQ oblastda lazer şüalanması generasiya edən aktiv mühit kimi istifadə etmək olar.

Yüksək optik həyəcanlaşma şəraitində *InSe* kristalında İQ-şüalanmanın sərbəst elektronlar tərəfindən udulma effekti müşahidə olunmuşdur. Tətbiq olunmuş yeni üsulla *InSe* kristalında İQ şüalanmanın sərbəst elektronlar tərəfindən udulmasının effektiv en kəsiyi hesablanmışdır: $\sigma=2,4 \cdot 10^{-18} \text{sm}^2$. Modulyasiya impulsunun relaksasiya əyrilərindən kvadratik rekombinasiyanın əmsalı müəyyən edilmişdir: $\gamma= 1,4 \cdot 10^{-15} \text{sm}^{-3} \cdot \text{s}^{-1}$. Bir neçə mikrosaniyə müddətində fotocərəyanın relaksasiya olunması (şəkil 16) *InSe* kristalı əsasında yüksək tezlikli lazer şüalanması detekterləri hazırlanması üçün yararlı olduğunu göstərir.



Şəkil 16.

İkiöçülü kristalların texnologiyasının və tədqiqatının nəticələri laylı quruluşlu kristallara maraqları daha da, artırmışdır. Laylar arasındakı Van-der-Vaals xarakterli zəif rabitənin və layların səthində az konsentrasiyalı halların olması layvari kristallardan monolayları ayırmağa və onları uzunmüddətli stabil halda tədqiq etməyə imkan verilir. $\text{Cu}_3\text{In}_5\text{S}_9$ kristalı D_{6h}^1 (P6/mmm) simmetriyalı fəza qrupuna aid olmaqla laylı quruluşa malikdir. Mexaniki üsulla kristalı "C"oxuna perpendikulyar səthə malik olan, güzgü üzlü nazik təbəqə nisbətən $\text{Cu}_3\text{In}_5\text{S}_9$ nazik təbəqələri növləri olduğundan onları mexaniki üsulla nanometr qalınlıqlı ultranazik laylara ayırmaq problemlidir. Qalınlığı bir neçə yüz mikrometr olan $\text{Cu}_3\text{In}_5\text{S}_9$ nazik təbəqələrin səth hallarının konsentrasiyasının az olması, bu təbəqələri nanozərrəciklərin yetişdirilməsi üçün altlıq qismində istifadə olunması əlverişlidir.

$\text{Cu}_3\text{In}_5\text{S}_9$ nazik təbəqələrində udma əmsalının spektri işində tədqiq olunmuşdur. Spektrin fundamental udma zonasında udma əmsalının sabit olması nazik təbəqəni optik filtr kimi istifadə etməyə imkan verir. Belə xüsusiyyətə malik olan $\text{Cu}_3\text{In}_5\text{S}_9$ nazik təbəqələri yüksək fotohəssaslığa da malikdirlər.

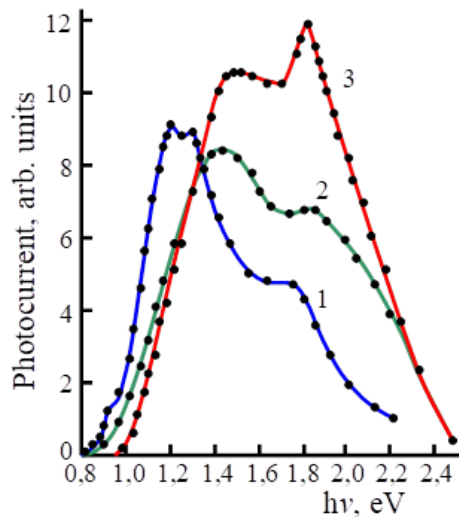
$\text{Cu}_3\text{In}_5\text{S}_9$ kristalında fotokeçiricilik stasionar rejimdə nümunənin daimi işıqlandırılması şəraitində və davam etmə müddəti 12 ns təşkil edən $\text{Nd}^{+3}:\text{YAG}$ lazerinin şüalanmasının ikinci harmonikasının ($\lambda = 532\text{nm}$) impulsunun təsiri altında tədqiq edilmişdir. Lazer şüasının impulsunun təsirində yaranan fotocərəyanın kinetikasi şəkil 17-də təsvir edilmişdir.



Şəkil 17. $\text{Cu}_3\text{In}_5\text{S}_9$ kristalında fotocərəyanın kinetikasi.

Lazer impulsunun 12 ns müddətində kəsilməsinə baxmayaraq, kristalda fotocərəyanın generasiyasının davam etdiyi müşahidə olunur. $\text{Cu}_3\text{In}_5\text{S}_9$ kristalı defektli quruluşa malikdir, yeni anion alt qəfəsdə 11,6% vakansiyalar mövcuddur. Kristalın n-tip keçiriciliyə malik olduğunu nəzərə alsaq donor-akseptor cütlüyünün konsentrasiyasının yüksək olduğu mümkündür. Belə halda lazer şüasının təsiri ilə ionlaşmış akseptorların neytrallaşması və şüalanma kəsildikdən sonra neytral akseptorların valent zona olan elektronları qəbul etməsi nəticədə qeyri-tarazlıqlı dəşiklərin konsentrasiyasının artmasına, bununla da fotocərəyanın artmasına səbəb olur. Fotocərəyanın relaksasiyası tez və yavaş rekombinasiya mərkəzləri vasitəsilə gedirlər. Tez rekombinasiya mərkəzlərində yaşama müddəti 20 ns təşkil edir ki, bununla da $\text{Cu}_3\text{In}_5\text{S}_9$ kristalından yüksək tezlikli fotoelektrik çeviricisi kimi istifadə etmək olar. Fotocərəyanın relaksasiya əyrisində sönən harmonik asılılıq da müşahidə olunur ki, bunu da lazer şüasının təsiri ilə nümunədə dreyf tutumunun yaranması ilə izah etmək olar. İnSe ultranazik təbəqəsində müşahidə olunduğu kimi, dreyf tutumu qeyri-tarazlıqlı elektron və dəşiklərin yürüklüklərinin biri-birindən kəskin fərqlənməsi halında yaranır.

$\text{Cu}_3\text{In}_5\text{S}_9$ kristalının vahid kvanta hesablanmış fotokeçiriciliyinin (FK) müxtəlif temperaturlardakı spektrləri şəkil 18-də təsvir olunmuşdur. Göründüyü kimi spektr elektromaqnit şüalanmasının 0,9...2,5 eV enerji diapazonunu əhatə edir. Bu diapazonda günəş şüalanmasının yer səthindəki spektrinin əsas hissəsi də yerləşir. Ona görə də $\text{Cu}_3\text{In}_5\text{S}_9$ kristalından günəş şüalanmasının effektiv çeviricisinin hazırlanmasında da istifadə etmək olar.



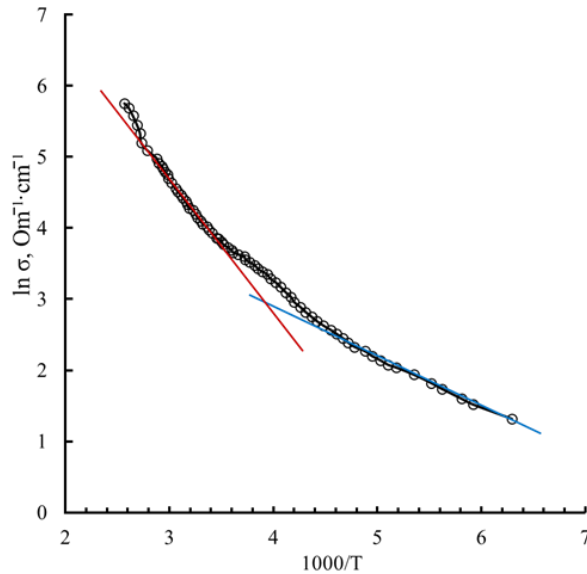
Şəkil 18. $Cu_3In_5S_9$ kristalının fotokeçiriciliyinin müxtəlif temperaturlardakı spektrləri: 1- 114 K; 2- 210 K; 3- 295 K.

Temperaturdan asılı olaraq fotocərəyanın spektrinin dəyişmə dinamikası mürəkkəb xarakter daşıyır. Alçaq temperaturda (şəkil 18, əyri 1) spektrin uzundalğalı kənarı kəskindir və 0,96 eV enerjiddə quruluş müşahidə olunur. Spektrin maksimumu 1,22 və 1,28 eV enerjili iki piklə formalaşmışdır. Bu pikləri zonalararası keçidlərin yaratdığı fotokeçiriciliyə aid etmək olmur, çünki kristalın qadağan olunmuş zonasının ($E_g = 1,55 eV$) temperatur əmsalı mənfi işarəli olduğu halda FK spektrində kənarın temperatur azaldıqca kiçik enerji tərəfə sürüşməsi görünür.

210 və 295 K temperaturlarda, spektrlərdə yüksək enerji oblastında yeni piklər yaranırlar və temperatur artıqca, onların intensivlikləri kəskin artırlar.

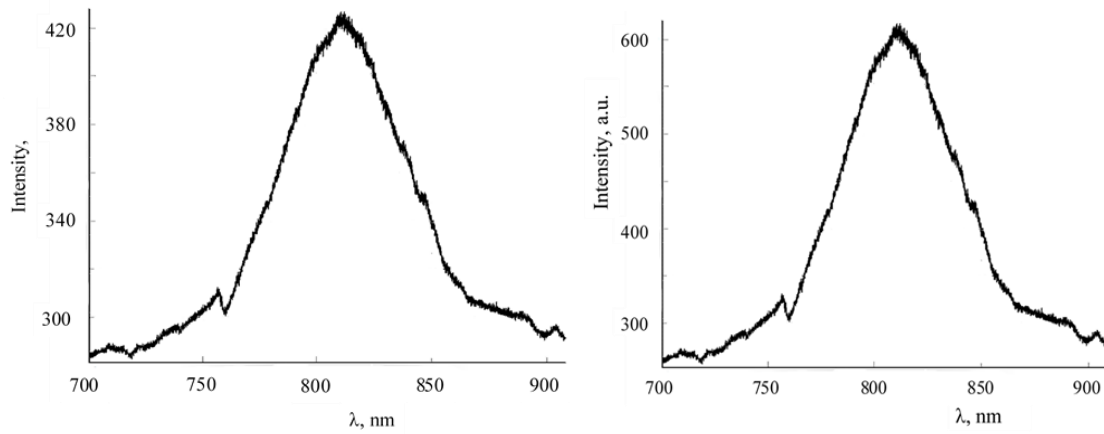
Kristalın elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılığından yerləşmə dərinliyi 0,28 və 0,76 eV olan donor səviyyələri aşkar edilmişdirlər (şəkil 19). Alçaq temperaturlarda dayaz donor səviyyələri boş olduğundan valent zonadan elektronların bu səviyyələrə keçməsi aşqar fotokeçiricilik yaradır. Ona görə də 0,9 və 1,5 eV enerji intervalında müşahidə olunan FK anon-kation vakansiyaların formalaşdırıldığı donor akseptor səviyyələrin hesabına aid etmək olar.

Otaq temperaturunda FK spektri 3 əyrisi ilə təsvir olunmuşdur. Spektr maksimumları 1,53 və 1,81 eV enerjilərdə olan iki piklə formalaşmışdır. Bu qiymətlər $Cu_3In_5S_9$ kristalında ellipsonmetriya üsulu ilə hesablanmış enerji səviyyələrinin qiymətləri ilə uyğunluq təşkil edirlər.



Şəkil 19. $Cu_3In_5S_9$ kristalının elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılığı.

$Cu_3In_5S_9$ kristalını $Nd^{3+}:YAG$ lazerinin şüalanmasının ikinci harmonikasının ($\lambda = 532 nm$) impulsu ilə həyəcanlandırmaqla müşahidə olunan fotoluminensensiya spektrləri şəkil 20-də təsvir olunmuşdur.



a) b)
Şəkil 20. $Cu_3In_5S_9$ kristalının fotoluminessensiya spektrləri.

Kristalın şüalanma spektri 700...930 nm dalğa uzunluğu diapazonunu əhatə edir. Maksimal şüalanma intensivliyi 810 nm dalğa uzunluğunda baş verir ki, bu da 1,53 eV enerjili kvantların zona-zona keçidi hesabına şüalanmasına uyğundur. Spektrin uzundalğalı kənarında və yüksək enerjili oblastlarında müəyyən quruluşlar müşahidə olunur ki, bunlar da kristalın zona quruluşunun xüsusiyyətləri ilə bağlı olduğu guman edilir. Həyəcanlaşdırıcı lazer şüalanmasının intensivliyini 2,2 dəfə artırıqda spektrin forması demək olar ki, prinsipial dəyişikliyə uğramır (şəkil 9,b), lakin şüalanmanın intensivliyi yalnız $\sim 1,5$ dəfə artır. Deməli, həyəcanlanmanın yüksək optik səviyyəsində şüalanmasız rekombinasiya prosesi güclənir. Layihənin yerinə yetirilməsi zamanı aşağıdakı üsul və yanaşmalardan istifadə olunmuşdur:

1. Maddənin tərkib və quruluş analizləri müasir skanedici elektron mikroskopunda (SEM), enerjidispers rentgen spektroskopiyası (EDAX) qurğularında aparılmışdır.
2. Nazik təbəqələrdə fotokeçiricilik və lüminessensiya hadisələri müasir impuls lazerindən (LQ-210 markalı Nd: YAG lazeri), yüksək ayırdetməyə malik olan monoxromator-spektrometrdən (M833 tipli), Le Croy və Techtronik tipli, yüksək tezlikli və yaddaşlı ossilloqraflardan istifadə etməklə sınaq edilmiş nəzəri bazaya malik olan üsullarla tədqiq edilmişdir.

2 Layihənin həyata keçirilməsi üzrə planda nəzərdə tutulmuş işlərin yerinə yetirilmə dərəcəsi (faizlə qiymətləndirməli)
100%

3 Hesabat dövründə alınmış **elmi nəticələr** (onların yenilik dərəcəsi, elmi və təcrübi əhəmiyyəti, nəticələrin istifadəsi və tətbiqi mümkün olan sahələr aydın şəkildə göstərilməlidir)

1. Nanometr qalınlıqlı $InSe$ nazik təbəqələrinin alınması üçün yeni üsul işlənmişdir. İlk dəfə olaraq vakuumda maddənin termik buxarlandırılması ilə maye səth üzərində $InSe$ nazik təbəqəsi alınmış və eksitonun rabitə enerjisinin kristaldakından 80 meV çox olduğu müəyyən edilmişdir.
2. Yüksək optik həyəcanlaşma şəraitində $InSe$ kristalında İQ-şüalanmanın sərbəst elektronlar tərəfindən udulma effekti müşahidə olunmuşdur.
3. $GaSe$ və $InSe$ nazik təbəqələrində udulma və lüminessensiya spektrləri tədqiq edilmişdir. Göstərilmişdir ki, modulyasiya siqnalının relaksasiya müddətinin kiçik olması

hesabına InSe ultranazik təbəqəsi İQ- oblastda işləyən impuls lazerlərinin şüalanmasını qeyd edə bilən fotodetektorlar hazırlanması üçün istifadə edilə bilər.

4. İlk dəfə $CuIn_5S_8$ nazik təbəqəsində yüksək səviyyəli optik həyəcanlanmada yaranan fotocərəyanın çox qısa, 35 ns müddətində relaksasiyası müşahidə olunmuşdur. Kristalın bu xüsusiyyətindən istifadə etməkə onun əsasında ifrat yüksək tezlikli fotodetektorların hazırlanmasının mümkünlüyü göstərilmişdir.
5. İlk dəfə $CuIn_5S_8$ kristal təbəqəsinin 535 nm dalğa uzunluqlu lazer şüalanması ilə həyəcanlaşdırdıqda yüksək intensivlikli lüminessensiya müşahidə edilmişdir. Göstərilmişdir ki, kristalın bu xüsusiyyəti ondan İQ oblastda lazer şüalanması generasiya edən aktiv mühit kimi istifadə etmək olar.
6. Göstərilmişdir ki, $Cu_3In_5S_9$ kristalından yüksək tezlikli fotoelektrik çeviricisi kimi istifadə etməklə bərabər həm də günəş şüalanmasının effektiv çeviricisinin hazırlanmasında da istifadə etmək olar.
7. İlk dəfə olaraq GaSe, GaS, $GaSe_{0.5}$ - $GaS_{0.5}$ və $GaSe$ nazik təbəqələri əsasında lazer şüalanmasının intensivlik tənzimləyicisi qurğusu hazırlanmışdır.

Layihə üzrə **elmi nəşrlər** (elmi jurnallarda məqalələr, monoqrafiyalar, icmaller, konfrans materiallarında məqalələr, tezislər) (dərc olunmuş, çapa qəbul olunmuş və çapa göndərilmişləri ayrılıqda qeyd etməklə, uyğun məlumat - jurnalın adı, nömrəsi, cildi, səhifələri, nəşriyyat, indeksi, İmpact Factor, həmmüəlliflər və s. bunun kimi məlumatlar - ciddi şəkildə dəqiq olaraq göstərməlidir) *(suratlarını kağız üzərində və CD şəklində əlavə etməli!)*

1. V.M. Salmanov, A.H. Kazim-zade, A.H. Huseinov, R.M. Mammadov, A.A. Salmanova, F.Sh.Ahmadova, N.D. Dashdamirova, Laser radiation attenuator on the basis of A^3B^6 layered semiconductor connections, Journal of Baku Engineering University – Physics. 2018. Volume 2, Number 1, Pages 18-25.
2. V.M. Salmanov, A.G. Guseinov, R. M. Mamedov, A. Salmanova, N.D. Dashdamirova. Current passing mechanism and electrical parameters of InSe. Journal of Baku Engineering University – Physics. 2018. Volume 2, Number 2 Pages 106-110.
3. V.M. Salmanov, A.G. Guseinov, R. M. Mamedov, A. Salmanova, N.D. Dashdamirova. Влияние электрического поля и лазерного возбуждения на спектры поглощения и люминесценции тонких пленок GaSe и InSe. АМЕА ХƏBƏRLƏRİ, Fizika-texnika və riyaziyyat elmləri seriyası, fizika və astronomiyaç 2019 №2, s. 160-166.
4. A. G. Guseinov, V. M. Salmanov, R. M. Mamedov, A.A. Salmanova, F.Sh. Ahmadova, N.D. Dashdamirova, THE EMERGENCE OF DRIFT CAPACITY IN 2D InSe CRYSTALS, Journal of Low Dimensional Systems, v.3(1), 2019, p.9-13
5. Кязым-заде А.Г., Салманов В.М., Гусейнов А.Г., Мамедов Р.М., Салманова А.А., Халилова А.Ф., Дашдамирова Н.Д., Изменение оптических свойств тонких пленок InSe под действием лазерного излучения, Мүасир тәбиәт və иqtisad elmlərinin aktual problemləri, beynəlxalq elmi konfrans, Gəncə, 2019, IV hissə, s.64-66
6. Гусейнов А.Г., Салманов В.М., Джафаров М.Б., Мамедов Р.М., Байрамов А.И., Особенности фотоэлектрических свойств $Cu_3In_5S_9$, Мүасир тәбиәт və иqtisad elmlərinin aktual problemləri, beynəlxalq elmi konfrans, Gəncə, 2019, IV hissə, s.55-57
7. Салманов В.М., Гусейнов А.Г., Мамедов Р.М., Рагимов С.С., Получение и свойства структуры InSe (наночастица) – InSe (кристалл), “Микро- и нанотехнологии в электронике” Материалы XI Международной научно-технической конференции, Россия, Нальчик, 2019, 3-8 июня с.75-78
8. А.Г. Кязым-заде, В.М. Салманов, А.Г. Гусейнов, Р.М. Мамедов, Р.М. Рзаев, А.А. Салманова, Н.Д. Дашдамирова. Поглощение ИК – света свободными носителями, созданными лазерным излучением в кристаллах InSe. АМЕА ХƏBƏRLƏRİ, Fizika-texnika və riyaziyyat elmləri seriyası, fizika və astronomiyaç 2020 №2, s.163-167.

	<p>9. А.Г. Гусейнов, В.М. Салманов, Р.М. Мамедов, А.З. Магомедов, А.И. Байрамова, Особенности фотолюминесценции и наносекундная релаксация фототока в кристаллах $CuIn_5S_8$ при высоком уровне оптического возбуждения, Оптика и спектроскопия, 2020, том 128, вып. 12, s.1849-1853, IF-0,739</p> <p>10. M. Salmanova, M. A. Jafarova, A. G. Guseinova, R. M. Mamedova, A. A. Salmanova. Thermal nonlinearities in GaSe.// Chalcogenide Letters, Vol. 18, No. 4, April 2021, p. 155 – 159, IF-0.779</p> <p>11. A.H. Kazim-zade, V.M. Salmanov, A.G. Guseinov, R.M. Mamedov, S.S. Ragimov, I.I. Qurbanov, V.N. Jafarova, Bandgap renormalization of the InSe by laser radiation, AJP FIZIKA 2021, vol. XXVII, №1, section: En, p.24-28</p> <p>12. Рагимов С.С., Гусейнов А.Г., Салманов В.М., Байрамова А.И., Курбанов И.И. Особенности фотопроводимости и фотолюминесценции тонких пленок слоистого кристалла $Cu_3In_5S_9$ XII Международная научно-техническая конференция, Россия, Нальчик, 2021 (çара göndərilib)</p>
5	İxtira və patentlər, səmərələşdirici təkliflər yoxdur
6	Layihə üzrə ezamiyyətlər (ezamiyyə baş tutmuş təşkilatın adı, şəhər və ölkə, ezamiyyə tarixləri, həmçinin ezamiyyə vaxtı baş tutmuş müzakirələr, görüşlər, seminarlarda çıxışlar və s. dəqiq göstərilməlidir) yoxdur
7	Layihə üzrə elmi ekspedisiyalarda iştirak (əgər varsa) yoxdur
8	Layihə üzrə digər tədbirlərdə iştirak (burada doldurmalı) yoxdur
9	Layihə mövzusu üzrə elmi məruzələr (seminar, dəyirmi masa, konfrans, qurultay, simpozium və s. çıxışlar) (məlumat tam şəkildə göstərilməlidir: a) məruzənin növü: plenar, dəvətli, şifahi və ya divar məruzəsi; b) tədbirin kateqoriyası: ölkədaxili, regional, beynəlxalq) (burada doldurmalı) yoxdur
10	Layihə üzrə əldə olunmuş cihaz, avadanlıq və qurğular, mal və materiallar, komplektləşdirmə məmulatları yoxdur
11	Yerli həmkarlarla əlaqələr Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti, Azərbaycan Dövlət Memarlıq və inşaat Universiteti
12	Xarici həmkarlarla əlaqələr yoxdur
13	Layihə mövzusu üzrə kadr hazırlığı (əgər varsa) yoxdur
14	Sərgilərdə iştirak (əgər baş tutubsa) 13-cü Azərbaycan Beynəlxalq Təhsil sərgisi 2019-cu il
15	Təcrübəartırmada iştirak və təcrübə mübadiləsi (əgər baş tutubsa) yoxdur
16	Layihə mövzusu ilə bağlı elmi-kütləvi nəşrlər, kütləvi informasiya vasitələrində çıxışlar, yeni yaradılmış internet səhifələri və s. (məlumatı tam şəkildə göstərilməlidir) Yoxdur

SİFARİŞÇİ:

Elmin İnkişafı Fondu

Aparıcı məsləhətçi

Hüseynzadə Leyla İlqar qızı

(imza)

“ _ ” _____ 2021-ci il

İCRAÇI:

Layihə rəhbəri

Rəhimov Sədiyar Soltan oğlu

(imza)

“ _ ” _____ 2021-ci il



AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASININ PREZİDENTİ YANINDA ELMİN İNKİŞAFI FONDU

MÜQAVİLƏYƏ ƏLAVƏ

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Elmin İnkişafı Fondunun
“Elm-Təhsil İnteqrasiyası” məqsədli qrant müsabiqəsinin
(EIF/MQM/Elm-Təhsil-1-2016-1(26)) qalibi olmuş
layihənin yerinə yetirilməsi üzrə

ALINMIŞ NƏTİCƏLƏRİN ƏMƏLİ (TƏCRÜBİ) HƏYATA KEÇİRİLMƏSİ VƏ LAYİHƏNİN NƏTİCƏLƏRİNDƏN GƏLƏCƏK TƏDQIQATLARDƏ İSTİFADƏ PERSPEKTİVLƏRİ HAQQINDA MƏLUMAT VƏRƏQİ (Qaydalar üzrə Əlavə 16)

Layihənin adı: **Laylı quruluşlu A3B6 və A13B35C69 tipli nanometr qalınlıqlı kristallar əsasında fotoelektrik çeviriciləri**

Layihə rəhbərinin soyadı, adı və atasının adı: **Rəhimov Sədiyar Soltan oğlu**

Qrantın məbləği: **27 800 manat**

Layihənin nömrəsi: **EIF/MQM/Elm-Təhsil-1-2016-1(26)-71/01/1-M-02**

Müqavilənin imzalanma tarixi: **19 avqust 2020-ci il**

Qrant layihəsinin yerinə yetirilmə müddəti: **6 ay**

Layihənin icra müddəti (başlama və bitmə tarixi): **01 oktyabr 2020-ci il – 01 aprel 2021-ci il**

Diqqət! Bütün məlumatlar 12 ölçülü Arial şrifti ilə, 1 intervalla doldurulma

Layihənin nəticələrinin əməli (təcrübi) həyata keçirilməsi

1 Layihənin əsas əməli (təcrübi) nəticələri, bu nəticələrin məlum analoqlar ilə müqayisəli xarakteristikası

Layihə çərçivəsində aşağıda sadalanan əsas nəticələr alınmışdır:

8. Nanometr qalınlıqlı $InSe$ nazik təbəqələrinin alınması üçün yeni üsul işlənmişdir. İlk dəfə olaraq vakuumda maddənin termik buxarlandırılması ilə maye səth üzərində $InSe$ nazik təbəqəsi alınmış və eksitonun rabitə enerjisinin kristaldakından 80 meV çox olduğu müəyyən edilmişdir.
9. Yüksək optik həyəcanlaşma şəraitində $InSe$ kristalında İQ-şüalanmanın sərbəst elektronlar tərəfindən udulma effekti müşahidə olunmuşdur.
10. $GaSe$ və $InSe$ nazik təbəqələrində udulma və lüminessensiya spektrləri tədqiq edilmişdir. Göstərilmişdir ki, modulyasiya siqnalının relaksasiya müddətinin kiçik olması hesabına $InSe$ ultranazik təbəqəsi İQ- oblastda işləyən impuls lazerlərinin şüalanmasını qeyd edə bilən fotodetektorlar hazırlanması üçün istifadə edilə bilər.
11. İlk dəfə $CuIn_5S_8$ nazik təbəqəsində yüksək səviyyəli optik həyəcanlanmada yaranan fotocərəyanın çox qısa, 35 ns müddətində relaksasiyası müşahidə olunmuşdur. Kristalın bu xüsusiyyətindən istifadə etməkə onun əsasında ifrat yüksək tezlikli fotodetektorların hazırlanmasının mümkünlüyü göstərilmişdir.

12. İlk dəfə $CuIn_5S_8$ kristal təbəqəsinin 535 nm dalğa uzunluqlu lazer şüalanması ilə həyəcanlaşdırdıqda yüksək intensivlikli lüminessensiya müşahidə edilmişdir. Göstərilmişdir ki, kristalın bu xüsusiyyəti ondan İQ oblastda lazer şüalanması generasiya edən aktiv mühit kimi istifadə etmək olar.
13. Göstərilmişdir ki, $Cu_3In_5S_9$ kristalından yüksək tezlikli fotoelektrik çeviricisi kimi istifadə etməklə bərabər həm də günəş şüalanmasının effektiv çeviricisinin hazırlanmasında da istifadə etmək olar.
14. İlk dəfə olaraq GaSe, GaS, $GaSe_{0,5}-GaS_{0,5}$ və GaSe nazik təbəqələri əsasında lazer şüalanmasının intensivlik tənzimləyicisi qurğusunun laboratoriya variantı hazırlanmışdır.

Qrafenin kəşfindən sonra ikiölçülü kristalların alınması və onların fiziki xassələrinin tədqiqi geniş elmi marağa səbəb olmuşdur. Qrafendən fərqli olaraq, qadağan olunmuş zonaya malik olan və ətraf mühitin təsirinə dayanıqlı olan $InSe$ 2D-kristalının fiziki xassələrinin tədqiqi nəticəsində praktik əhəmiyyət kəsb edən bəzi xüsusiyyətləri aşkar edilmişdir. Məlum olmuşdur ki, mexaniki üsulla alınmış $InSe$ tetralaylarında elektronların yürüklüyü $104 \text{ sm}^2/V \cdot s$ tərtibində qiymətlərə malikdir. Belə materiallar ifrat yüksək tezlikli cihazların hazırlanması üçün çox əlverişlidir. Lakin, mexaniki üsulla monokristal külçədən ayrılmış $InSe$ 2D-kristalları çox kiçik (bir neçə mm^2) sahəyə malik olur. Layihə çərçivəsində nanometr qalınlıqlı $InSe$ nazik təbəqələri 1 sm^2 sahəli olmaqla, vakuumba maddəni termik buxarlandıraraq maye səth üzərinə çökdürməklə alınmışdır. Bu üsulda maye səthə çökmüş atom və ya molekulların yürüklüyünü artırmağa ehtiyac qalmır və zərrəciklər sərbəst olaraq bir-biri ilə qarşılıqlı təsirdə olurlar. $CuIn_5S_8$ kristal təbəqəsində yüksək səviyyəli optik həyəcanlaşma ilə yaranan fotocərəyanın relaksasiyası çox qısa müddətdə (35 ns) baş verməsi, lüminessensiya spektrinin üç şüalanma zolağı hesabına formalaşması, 1,52 eV, 1,48 eV və 1,465 eV enerjili optik keçidlər onun əsasında ifrat yüksək tezlikli fotodetektorları hazırlanmaq və İQ oblastda lazer şüalanması generasiya edən aktiv mühit kimi istifadə etməyə imkan verir.

Göstərilmişdir ki, He-Ne qaz lazerinin 0,633 mkm dalğa uzunluqlu şüalanması GaSe kristalının otaq temperaturundakı qadağan olunmuş zonasının eninə uyğun dalğa uzunluğundan (0,610 mkm) böyük olduğundan şüalanma kristalda çox az udularaq keçir. Kristala 60-100 V arasında gərginlik verdikdə udma zolağının kənarı 0,610 mkm-dən 0,638 mkm-ə qədər dəyişir və nəticədə lazer şüalanması kristal tərəfindən kəskin udulur. Bu təcrübi nəticələr əsasında ilk dəfə olaraq GaSe, GaS, $GaSe_{0,5}-GaS_{0,5}$ və GaSe nazik təbəqələri əsasında lazer şüalanmasının intensivlik tənzimləyicisi qurğusunun laboratoriya variantı hazırlanmışdır.

2 Layihənin nəticələrinin əməli (təcrübi) həyata keçirilməsi haqqında məlumat (istehsalatda tətbiq (tətbiqin aktını əlavə etməli); tədris və təhsildə (nəşr olunmuş elmi əsərlər və s. – təhsil sistemində tətbiqin aktını əlavə etməli); bağlanmış xarici müqavilələr və ya beynəlxalq layihələr (kimlə bağlanıb, müqavilənin və ya layihənin nömrəsi, adı, tarixi və dəyəri); dövlət proqramlarında (dövlət orqanının adı, qərarın nömrəsi və tarixi); ixtira üçün alınmış patentlərdə (patentin nömrəsi, verilmə tarixi, ixtiranın adı); və digərlərində)

yoxdur

1. Layihənin nəticələrindən gələcək tədqiqatlarda istifadə perspektivləri

1 Nəticələrin istifadəsi perspektivləri (fundamental, tətbiqi və axtarış-innovasiya yönlü elmi-tədqiqat layihə və proqramlarında; dövlət proqramlarında; dövlət qurumlarının sahə tədqiqat proqramlarında; ixtira və patent üçün verilmiş ərizələrdə; beynəlxalq layihələrdə; və digərlərində)

Layihə çərçivəsində alınmış nəticələrdən gələcəkdə tətbiqi və axtarış-innovasiya yönü elmi-tədqiqat layihə və proqramlarında istifadə etmək olar

SİFARİŞÇİ:

Elmin İnkişafı Fondu

Aparıcı məsləhətçi

Hüseynzadə Leyla İlqar qızı

(imza)

“ _ ” _____ 2021-ci il

İCRAÇI:

Layihə rəhbəri

Rəhimov Sədiyar Soltan oğlu

(imza)

“ _ ” _____ 2021-ci il



**AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASININ PREZİDENTİ YANINDA
ELMİN İNKİŞAFI FONDU**

MÜQAVİLƏYƏ ƏLAVƏ

**Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Elmin İnkişafı Fondunun
“Elm-Təhsil İntegrasiyası” məqsədli qrant müsabiqəsinin
(EIF/MQM/Elm-Təhsil-1-2016-1(26)) qalibi olmuş
layihənin yerinə yetirilməsi üzrə**

**ALINMIŞ ELMİ MƏHSUL HAQQINDA MƏLUMAT
(Qaydalar üzrə Əlavə 17)**

Layihənin adı: **Laylı quruluşlu A3B6 və A13B35C69 tipli nanometr qalınlıqlı kristallar əsasında fotoelektrik çeviriciləri**

Layihə rəhbərinin soyadı, adı və atasının adı: **Rəhimov Sədiyar Soltan oğlu**

Qrantın məbləği: **27 800 manat**

Layihənin nömrəsi: **EIF/MQM/Elm-Təhsil-1-2016-1(26)-71/01/1-M-02**

Müqavilənin imzalanma tarixi: **19 avqust 2020-ci il**

Qrant layihəsinin yerinə yetirilmə müddəti: **6 ay**

Layihənin icra müddəti (başlama və bitmə tarixi): **01 oktyabr 2020-ci il – 01 aprel 2021-ci il**

Diqqət! Bütün məlumatlar 12 ölçülü Arial şrifti ilə, 1 intervalla doldurulmalıdır

1. Elmi əsərlər (sayı)

№	Tamlıq dərəcəsi	Dərc olunmuş	Çapa qəbul olunmuş və ya çapda olan	Çapa göndərilmiş
1.	Monoqrafiyalar			
	həmçinin, xaricdə çap olunmuş			
2.	Məqalələr	8		

	həmçinin xarici nəşrlərdə	2		
3.	Konfrans materiallarında məqalələr O cümlədən, beynəlxalq konfrans materiallarında	3		
		3		1
4.	Məruzələrin tezisləri həmçinin, beynəlxalq tədbirlərin toplusunda			
5.	Digər (icmal, atlas, kataloq və s.)			

2. İxtira və patentlər (sayı)

Nö	Elmi məhsulun növü	Alınmış	Verilmiş	Ərizəsi verilmiş
1.	Patent, patent almaq üçün ərizə			
2.	İxtira			
3.	Səmərələşdirici təklif			

3. Elmi tədbirlərdə məruzələr (sayı)

Nö	Tədbirin adı (seminar, dəyirmi masa, konfrans, qurultay, simpozium və s.)	Tədbirin kateqoriyası (ölkədaxili, regional, beynəlxalq)	Məruzənin növü (plenary, dəvətli, şifahi, divar)	Sayı
1.				
2.				
3.				

SİFARIŞÇI:

Elmin İnkişafı Fondu

Aparıcı məsləhətçi

Hüseynzadə Leyla İlqar qızı

(imza)

“ ” _____ 2021-ci il

İCRAÇI:

Layihə rəhbəri

Rəhimov Sədiyar Soltan oğlu

(imza)

“ ” _____ 2021-ci il