

PACS: 32.30.Rj, 61.10.-i, 68.55.Jk

## ОСОБЕННОСТИ РОСТА И ВЛИЯНИЕ $\gamma$ -ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ ПЛЕНОК $Cd_{1-x}Fe_xSe$

И.Р. Нуриев<sup>1</sup>, М.А. Мехрабова<sup>2</sup>, А.М. Назаров<sup>1</sup>, Н.Г. Гасанов<sup>3</sup>, Р.М. Садыгов<sup>1</sup>,  
Э.И. Мирзоев<sup>1</sup>, Н.В. Фараджев<sup>1</sup>, С.С. Фарзалиев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт физики им. академика Г.М. Абдуллаева НАН Азербайджана

<sup>2</sup>Институт Радиационных Проблем НАН Азербайджана

<sup>3</sup>Бакинский Государственный Университет

[m.mehrabova@science.az](mailto:m.mehrabova@science.az)

**Резюме:** Были выращены эпитаксиальные пленки  $Cd_{1-x}Fe_xSe$  ( $x=0.02$ ) на подложках слюды и стекла. Установлено, что при комнатной температуре на подложках слюды растут пленки с поликристаллической структурой, а на стеклянных подложках наряду с поликристаллической одновременно растут пленки с аморфной структурой. Показано, что поликристаллические пленки  $Cd_{1-x}Fe_xSe$  ( $x=0.02$ ), в отличие от массивных образцов имеют структуру типа сфалерита с параметром решетки  $a=6.05 \text{ \AA}$ . Повышение температуры подложки до 673К приводит к эпитаксиальному росту с направлением [111]. Черные скопления, наблюдаемые на поверхности пленок были устранены с использованием компенсирующего источника паров Se в процессе роста. Определены оптимальные условия получения структурно совершенных эпитаксиальных пленок.

Определена ширина запрещенной зоны эпитаксиальных пленок  $Cd_{1-x}Fe_xSe$  и влияние  $\gamma$ -излучения на спектры пропускания. Выявлено, что увеличение концентрации Fe в составе эпитаксиальных пленок  $Cd_{1-x}Fe_xSe$ , а также облучение пленок  $\gamma$ -квантами при дозах  $D_\gamma=350\text{Гр}$  приводит к увеличению ширины запрещенной зоны

**Ключевые слова:** Полумагнитные полупроводники, эпитаксиальные пленки, морфология поверхности, кристаллическая структура, электронограмма, рентгендифрактограмма, оптические спектры,  $\gamma$ -излучение

### 1. Введение

Эпитаксиальные пленки полумагнитных полупроводников и создание различных приборов на их основе стали одним из основных направлений современной физики. Успешное применение этих пленок в современной микро- и оптоэлектронике требует разработку технологии получения структурно совершенных пленок с чистой, гладкой поверхностью [1-6]. Известно, что приборы создаются в тонких приповерхностных слоях кристаллов и все структурные изменения отражаются на характеристиках приборов. Поэтому структура и морфология поверхности кристаллов играет важную роль при изготовлении различных приборов.

В данной работе определяются оптимальные условия получения совершенных эпитаксиальных пленок  $Cd_{1-x}Fe_xSe$  ( $x=0.02$ ), а также влияние  $\gamma$ -излучения на их оптические свойства.

### 2. Методика эксперимента

Эпитаксиальные пленки  $Cd_{1-x}Fe_xSe$  ( $x=0.02$ ) толщиной  $0.5\div 1 \text{ мкм}$ , были выращены на стеклянных и слюдяных подложках методом конденсации молекулярных пучков в

вакууме  $10^{-4}$ Па. В качестве источника использовались синтезированные твердые растворы  $Cd_{1-x}Fe_xSe$  ( $x=0.02$ ).

Особенности роста и структуры пленок исследовались рентгенодифракционным методом на BRUKER XRD D8 ADVANCE. Морфология поверхности методами сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) на The Carl Zeiss Sigma VP Scanning Electron Microscope. Определены оптимальные условия получения структурно совершенных эпитаксиальных пленок с чистой гладкой поверхностью, без включения второй фазы.

Исследования оптических спектров проводились на спектрофотометре UV-Visible SPECORD 210 PLUS до и после облучения образцов  $\gamma$ -квантами ( $E=1.27$ МэВ,  $E=1.33$ МэВ) при дозах облучения  $D\gamma = 10$ крад и  $D\gamma = 25$ крад.

### 3. Результаты и их обсуждение

Установлено, что при комнатной температуре на свежесколотых гранях монокристаллов слюды растут пленки с поликристаллической структурой. На стеклянных подложках наряду с поликристаллической структурой одновременно растут пленки и с аморфной структурой (рис.1). Расчеты показывают, что поликристаллические пленки  $Cd_{1-x}Fe_xSe$  ( $x=0.02$ ) в отличие от литературных данных, состоят из смеси гексагональной модификации ( $a=4.30 \text{ \AA}$ ;  $c= 7.01 \text{ \AA}$ ) и кубической типа сфалерита с параметром решетки  $a=6.05 \text{ \AA}$  (рис.1).

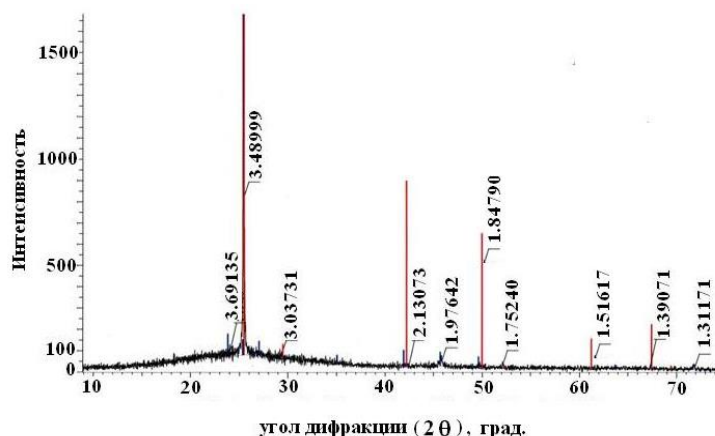


Рис.1.Рентгенодифракционный снимок пленок  $Cd_{1-x}Fe_xSe$  ( $x=0.03$ ) полученных на стеклянных подложках ( $T_n=573K$ )

Повышение температуры подложки до 673К приводит к эпитаксиальному росту пленок со структурой типа сфалерита с направлением [111]. Определены оптимальные условия получения ( $v_k=8\div9 \text{ \AA}/\text{сек}$ ;  $T_n=673K$ ) структурно совершенных ( $W_{1/2}=100''-140''$ ) эпитаксиальных пленок растущих в плоскости (111) (рис.2).

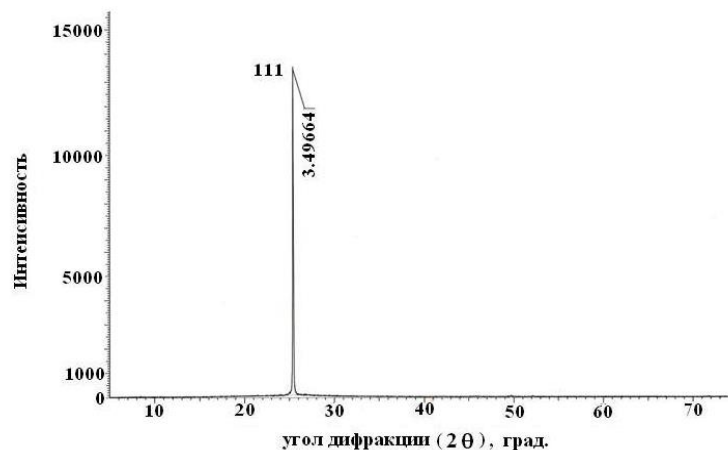


Рис.2.Рентгенодифракционный снимок эпитаксиальных пленок  $Cd_{1-x}Fe_xSe$  ( $x=0.02$ ) ( $T_n=673K$ )

СЭМ исследования морфологии поверхности показали, что на пленках наблюдаются черные скопления, количество которых растет с уменьшением скорости конденсации и увеличением температуры подложки (рис.3,а). Эти скопления возможно являются оксидами, образовавшимися во время роста, вследствие захвата кислорода лишними атомами металла (Cd), которые появляются в результате частичного разложения исследуемого материала в процессе напыления [7-10]. Использованием дополнительного компенсирующего источника паров Se в процессе роста, удалось получить пленки с чистой, гладкой поверхностью (рис.3,б).

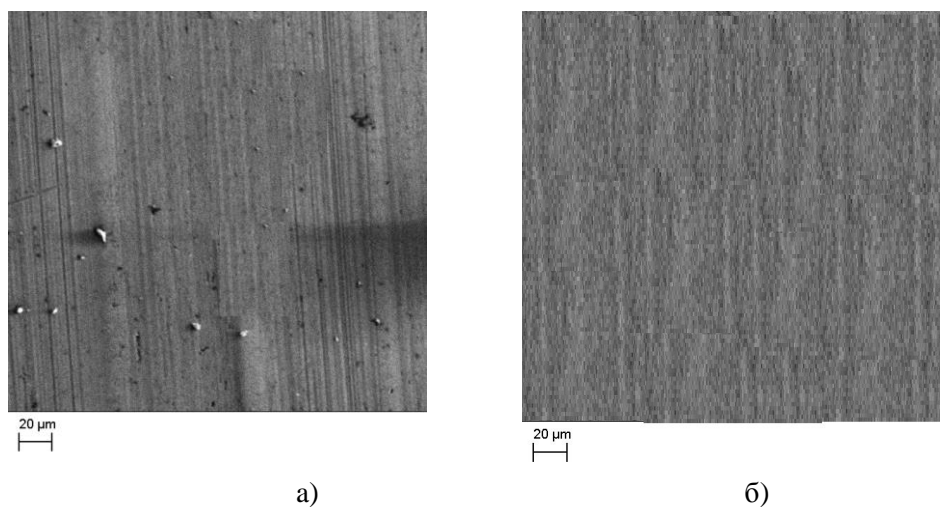


Рис. 3.Электронно-микроскопические снимки поверхности эпитаксиальных пленок  $Cd_{1-x}Fe_xSe$  ( $x=0,02$ ) полученных при температуре подложки  $T_n=673K$ : а) без компенсации Te, б) с компенсацией Te

Были исследованы спектры поглощения и пропускания эпитаксиальных пленок  $Cd_{1-x}Fe_xSe$  ( $x=0.02$ ), полученных при температурах подложек  $T_n=300K$  и  $T_n=673K$  на подложках слюды и стекла. Спектры пропускания пленок  $Cd_{1-x}Fe_xSe$  ( $x=0.02$ ) имеют пики и впадины, обусловленные интерференционными явлениями, что свидетельствует о высоком структурном совершенстве исследуемых пленок. Показано, что пропускание

пленок  $Cd_{1-x}Fe_xSe$  ( $x=0.02$ ) на стеклянных подложках больше, чем на слюдяных, что по видимому связано с различием оптических поглощений подложек (рис.4).

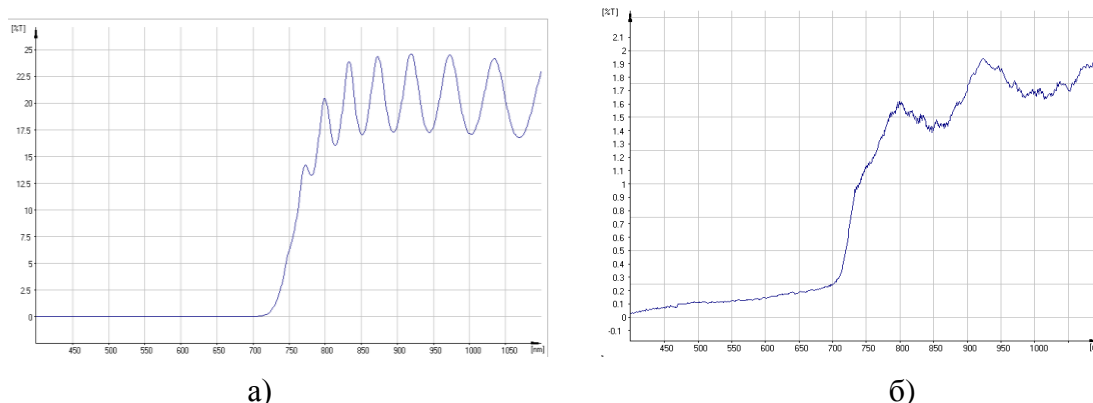


Рис.4. Оптическое пропускание эпитаксиальных пленок  $Cd_{1-x}Fe_xSe$ ,  $x=0.02$  а) на стеклянной подложке б) на слюдяной подложке

Для изучения оптических параметров мы использовали конвертный метод [11,12]. По спектру пропускания помощью конвертного метода были определены показатель преломления  $n(\lambda)$ , коэффициент поглощения  $\alpha(\lambda)$ , ширина запрещенной зоны  $E_g$  и толщина  $d$  (рис.5).

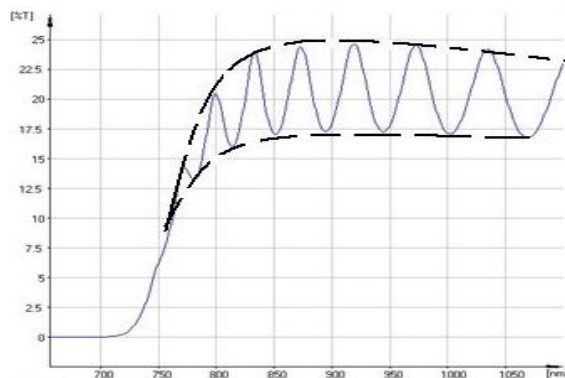


Рис.5. Спектр пропускания эпитаксиальных пленок  $Cd_{1-x}Fe_xSe$ ,  $x=0.02$ , напыленных на стеклянные подложки, с конвертными кривыми для интерференционных максимумов и минимумов

Определено, что ширина запрещенной зоны для  $Cd_{1-x}Fe_xSe$  ( $x=0.02$ ) составляет  $E_g=1.75$ эВ, тогда как для  $CdSe$   $E_g=1.74$ эВ. Это говорит о том, что с внедрением атомов Fe в кристаллическую ячейку, а также с увеличением концентрации Fe в составе  $Cd_{1-x}Mn_xSe$  происходит увеличение ширины запрещенной зоны. Полученный результат подтверждается нашими теоретическими исследованиями, а также согласуется с литературными данными.

Изучено влияние  $\gamma$ -излучения на спектры пропускания и поглощения эпитаксиальных пленок ПМП  $Cd_{1-x}Fe_xSe$  ( $x=0.02$ ), полученных на стеклянных подложках при  $T_n=673$ К (рис.6). Образец облучали при дозе  $D_\gamma=350$ Qr. Выявлено, что облучение  $\gamma$ -квантами при дозах  $D_\gamma=350$ Qr приводит к незначительному увеличению ширины запрещенной зоны, что было выявлено и в наших предыдущих работах для  $Cd_{1-x}Mn_xTe$ .

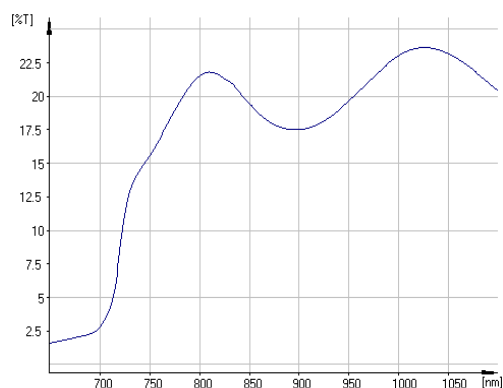


Рис. 6. Спектр пропускания эпитаксиальных пленок  $Cd_{1-x}Fe_xSe$ ,  $x=0.02$  при дозе облучения  $D_\gamma=350Gr$

#### 4. Заключение

Таким образом, применением метода конденсации молекулярных пучков на стеклянных и слюдяных подложках выращены структурно совершенные эпитаксиальные пленки  $Cd_{1-x}Fe_xSe$  ( $x=0.02$ ). Определены оптимальные условия получения ( $\nu_k=8\div9 \text{ \AA}/\text{сек}$ ;  $T_{\text{п}}=673 \text{ K}$ ) эпитаксиальных пленок. Установлено, что в эпитаксиальных пленках  $Cd_{1-x}Fe_xSe$  ( $x=0.02$ ) в отличие от массивных образцов образуется кубическая структура типа сфалерита с параметром решетки  $a=6.05 \text{ \AA}$ .

Эпитаксиальные пленки, полученные с компенсацией дополнительным источником паров Se во время роста имеют более совершенную структуру и чистую, гладкую поверхность без включения второй фазы.

При помощи конвертного метода из спектров оптического пропускания эпитаксиальных пленках  $Cd_{1-x}Fe_xSe$  ( $x=0.02$ ), определена ширина запрещенной зоны эпитаксиальных пленок  $Cd_{1-x}Fe_xSe$ , выявлено влияние  $\gamma$ -излучения на спектры пропускания. Показано, что увеличение концентрации Fe в составе эпитаксиальных пленок  $Cd_{1-x}Fe_xSe$ , а также облучение пленок  $\gamma$ -квантами при дозах  $D_\gamma=350Gr$  приводит к увеличению ширины запрещенной зоны.

Работа выполнена при поддержке гранта УНТЦ №6288.

#### Литература

1. Полуманитные полупроводники / Ред. Фурдыны Я., Косуа Я. М.: Мир, 1992.
2. Никитин П.И., Савчук А.И. Эффект Фарадея в полуманитных полупроводниках. 1990, т.15, №11, с.167-196
3. И.Р.Нуриев, А.М.Назаров, М.А.Мехрабова, Р.М.Садыгов, Особенности роста, структура и морфология поверхности эпитаксиальных пленок  $Cd_{1-x}Mn_xTe$ , Журнал «Неорганические Материалы», 2016, т.52, №9, с.1-4
4. И.Р.Нуриев, М.А.Мехрабова, Е. А. Аллахьяров, А.М.Назаров, Р. М. Садыгов, Н.Г.Гасанов. Структура и фотоэлектрические свойства эпитаксиальных пленок  $Cd_{1-x}Mn_xTe$ . V Международная научно-практическая конференция «Современные проблемы физики металлов», 2016, Баку, Азербайджан, с.197-202

5. Mehrabova M.A., Nuriyev H.R., Orujov H.S. и др. // Defect formation energy for charge states and electrophysical properties of CdMnTe. Proc. SPIE Photonics, Devices and Systems VI, 2015, V.9450, P.94500Q-1-10.
6. Mehrabova M. A., Orujov H. S., Hasanov N. H. // Ab initio study of defects in CdMnTe: Electronic structure and related properties. Science PG, International Journal of Materials Science and Applications, 2014, 3(6-1), P.24-32
7. Нуриев И.Р., Мехрабова М.А., Назаров А.М. и др. // Рост, структура и морфология поверхности эпитаксиальных пленок CdTe. ФТП, 2017, V.51, №1, P.36-39.
8. Нуриев И.Р., Назаров А.М., Мехрабова М.А., и др. // Структура и морфология поверхности эпитаксиальных пленок полумагнитных твердых растворов  $Cd_{1-x}(Mn,Fe)_xSe$ . I Российский кристаллографический конгресс. Москва, 21-26 ноября, 2016, С.180.
9. Нуриев И.Р., Мехрабова М.А., Гасанов Н.Г., Фараджев Н.В., Фарзалиев С.С. Структура и морфология поверхности эпитаксиальных пленок  $Cd_{1-x}Fe_xSe$ . АМЕА АМЕА, Хəбərlər, 2017, №2, с.101-105
10. Nuriyev I.R., Mehrabova M.A., Hasanov N.H. Structure and surface morphology of  $Cd_{1-x}Mn_xSe$  epitaxial films // Journal of Surface Investigation: X-ray, Synchrotron and Neutron Techniques, 2018, v.12, №3, p.504–506.
11. Мехрабова М.А., Нуриев Г.Р., Гаджиева Н.Н., Гусейнов Н.И., Гасанлы Р.Н. Оптические спектры тонких пленок  $Cd_{1-x}Mn_xTe$  / 8th Conference: Radiation research and its practical aspects, Баку, 2013, p.45-46
12. Брус В.В., Солован М.Н., Майструк Э.В., Козьярский И.П., и др. Особенности оптических и электрических свойств поликристаллических пленок CdTe, изготовленных методом термического испарения // ФТП, 2014, т.56, в.10, с.1886-1890

### GROWTH PROPERTIES OF $Cd_{1-x}Fe_xSe$ EPITAXIAL FILMS AND EFFECT OF GAMMA-IRRADIATION ON THEIR OPTICAL PROPERTIES

H.R. Nuriyev<sup>1</sup>, M.A. Mehrabova<sup>2</sup>, A.M. Nazarov<sup>1</sup>, N.H. Hasanov<sup>3</sup>, R.M. Sadigov<sup>1</sup>,  
E.I. Mirzoyev<sup>1</sup>, N.V. Farajov<sup>1</sup>, S.S. Farzaliyev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Physics named after academician G.M. Abdullayev of ANAS*

<sup>2</sup>*Institute of Radiation Problems of ANAS*

<sup>3</sup>*Baku State University*

[m.mehrabova@science.az](mailto:m.mehrabova@science.az)

**Abstract:**  $Cd_{1-x}Fe_xSe$  ( $x=0.02$ ) epitaxial films were obtained on mica and glass substrates. It is established that, at room temperature growing films on mica substrates have a polycrystalline structure, but on glass substrates both polycrystalline and amorphous structure. It is shown that the polycrystalline  $Cd_{1-x}Fe_xSe$  ( $x=0.02$ ) films, unlike the bulk crystals, have a sphalerite-type structure with a lattice parameter  $a = 6.05 \text{ \AA}$ . Increasing the substrate temperature till 673K leads to the epitaxial growth on the direction [111]. Dark aggregates, observed at the film surface, were removed using a source of compensating Se vapors in the growth process. The optimal conditions for the production of structurally perfect epitaxial films were defined.

The band gap of  $Cd_{1-x}Fe_xSe$  epitaxial films is determined, as well as the effect of  $\gamma$ -irradiation on their transmission spectra. It is shown that an increase in the Fe concentration in the composition of  $Cd_{1-x}Fe_xSe$  epitaxial films and irradiation of films by  $\gamma$ -quanta at doses of  $D_\gamma = 350Qr$  leads to an increase in the band gap.

**Keywords:** Semimagnetic semiconductors, epitaxial films, surface morphology, crystal structure, electron diffraction pattern, X-ray diffraction pattern, optical spectra,  $\gamma$ -irradiation

**Cd<sub>1-x</sub>Fe<sub>x</sub>Se EPITAKSIAL TƏBƏQƏLƏRİNİN YETİŞDİRİLMƏ XÜSUSİYYƏTLƏRİ VƏ  
γ-ŞÜALANMANIN ONLARIN OPTİK XASSƏLƏRİNƏ TƏSİRİ**

**H.R. Nuriyev<sup>1</sup>, M.Ə. Mehrabova<sup>2</sup>, A.M. Nəzərov<sup>1</sup>, N.H. Həsənov<sup>3</sup>, R.M. Sadıqov<sup>1</sup>,  
E.I. Mirzoyev<sup>1</sup>, N.V. Fərəcov<sup>1</sup>, C.C. Fərzəliyev<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>AMEA akademik H.M.Abdullayev adına Fizika İnstitutu

<sup>2</sup>AMEA Radiasiya Problemləri İnstitutu

<sup>3</sup>Bakı Dövlət Universiteti

[m.mehrabova@science.az](mailto:m.mehrabova@science.az)

**Xülasə:** Slyuda və şüşə altlıqlar üzərində Cd<sub>1-x</sub>Fe<sub>x</sub>Se (x=0.02) epitaksial təbəqələri alınmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, otaq temperaturu şəraitində slyuda altlıqlar üzərində polikristal quruluşlu təbəqələr, şüşə altlıqlar üzərində isə polikristal və amorf quruluşlu təbəqələrin qarışığı böyüyür. Göstərilmişdir ki, həcmi kristallardan fərqli olaraq Cd<sub>1-x</sub>Fe<sub>x</sub>Se (x=0.02) polikristal təbəqələr sfalerit tipli quruluşa malikdir və qəfəs sabiti  $a=6.05 \text{ \AA}$  təşkil edir. Altlığın temperaturunu 673 K -ə qədər artırıqda [111] istiqamətində epitaksial böyümə baş verir. Təbəqələrin səthində müşahidə edilən qara ləkələr böyümə prosesində kompensasiyaedici Se buxarı mənbəyindən istifadə etməklə aradan götürülür. Mükəmməl quruluşa malik epitaksial təbəqələrin alınmasının optimal şərtləri müəyyən edilmişdir.

Cd<sub>1-x</sub>Fe<sub>x</sub>Se epitaksial təbəqələrinin qadağan olunmuş zonasının eni və həmçinin və γ-şüalanmanın onların buraxım spektrlərinə təsiri öyrənilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, Cd<sub>1-x</sub>Fe<sub>x</sub>Se epitaksial təbəqələrinin tərkibində Fe atomlarının konsentrasiyasının artması və  $D_{\gamma}=350\text{Qr}$  dozada γ-şüalanmanın təsiri nəticəsində qadağan olunmuş zonanın eninin artması baş verir.

**Açar sözlər:** yarımmaqnit yarımkəçiriciləri, epitaksial təbəqələr, səth morfolojiyası, kristal quruluş, elektron diffraksiyası, rentgen diffraksiyası, optik spektrlər, γ-şüalanma