

a-Si:H TƏBƏQƏLƏRİNİN ALINMASI TEXNOLOGİYASI VƏ ONLARIN STRUKTURLARININ MODİFİKASİYASI

E.Ə. KƏRİMOV

Azərbaycan Texniki Universiteti,
Bakı, H. Cavid pros. 35, AZ 1073

E-mail: E.Kerimov.fizik@mail.ru

Mikrokristallik silisiumun $\mu\text{-Si:H}$ xassələri alınma texnologiyalarından və çökdürülmənin texnoloji parametrlərindən çox güclü surətdə asılıdır. Amorf silisiumla müqayisədə mikrokristallik silisium yüksək keçiriciliyə, yük daşıyıcıların böyük yürüklüyünə və spektrin infraqırmızı oblastında udulma əmsalının yüksək qiymətinə malikdir. $\mu\text{-Si:H}$ strukturun a-Si:H strukturundan daha bir üstünlüyü bu materialın xarici təsirlər – məsələn, işıqlanma zamanı parametrlərinin stabilliyidir. Bununla yanaşı $\mu\text{-Si:H}$ praktiki olaraq amorf silisiumun əldə olduğu texnoloji avadanlıqda əldə oluna bilər.

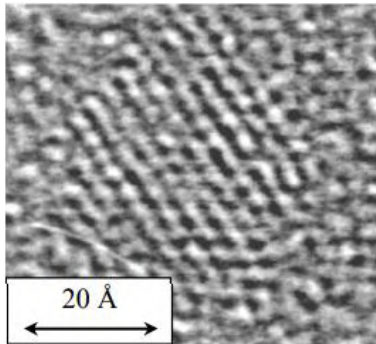
Açar sözlər: silisium, nanokristal, nanoölçü, ölçü effekti, amorf, nanotəbəqə, nanomiqyas, fotostabillik.

UOT: 666.9-129

PACS: 73.40.Ns, 73.40.Sx, 72.10.-d

Bərk cismin nanokristallik vəziyyətinə elmi maraqla, hər şeydən əvvəl, ölçüləri bu və ya digər fiziki hadisənin xarakterik korrelyasiya miqyası ilə müqayisə olunan, və ya daha kiçik olan nanohissəciklər və nanokristalların xassələrində ölçü effektlərinin gözlənilməsi ilə bağlıdır. Nanoölçülü obyektlərə praktiki maraqla isə məlum materialların nanokristallik vəziyyətə keçdiyi zaman xassələrinin nəzərə çarpacaq dərəcədə modifikasiya oluna bilməsi və hətta prinsiplə dəyişməsi ilə şərtlənir. Belə yanaşmaya misal olaraq, silanın parçalanması məhsullarının, və ya a-Si:H amorf silisium təbəqəsinin polimerləşməsinə yaxın şəraitdə boşalma plazmasında alınmış polimorf silisium təbəqələrini göstərmək olar. Belə təbəqələr tsiklik plazmokimyəvi çökdürmə metodu və amorf silisium nanotəbəqələrinin hidrogen plazmasında tablama yolu ilə formalaşır və tərkibində nanokristallik silisium aralıqları mövcud olur. Hər iki metod amorf silisium əsasında cihaz strukturlarının fotostabilliyinin yaxşılaşdırılması məsələsini həll edir və bu zaman yaxşılaşdırılmış fotoelektrik xarakteristikaları materiallara almağa imkan verir.

a-Si:H təbəqələri əsasında fotoçeviricilərin geniş tətbiqinin qarşısını alan ən ciddi problem bu materiallarda müşahidə olunan, eyni zamanda Stebler-Vronski effekti adlanan işıqlanma müddətindən asılı olaraq fotokeçiriciliyin azalmasında özünü göstərən fotoinduksiya deqradasiyası effekti [1].



Şəkil 1. Yüksək ayırdetmə mikroskopiyası metodu ilə alınmış silisium nanokristallitinin mikrofotosu [2].

10 nm orta ölçülü nanokristallik $\mu\text{-Si}$ silisium qoşulmaları olan a-Si:H təbəqələri bircins a-Si:H təbəqələri ilə müqayisədə daha böyük stabilliyə malikdirlər. Yüksək fotohəssaslığın təmin olunması üçün təbəqələrdə yük daşıyıcıların nəqli a-Si:H təbəqələri üzərindən həyata keçirilməlidir, bu isə silisium nanokristallitlərinin həcmi payına məhdudiyətlər qoyur. Yaxın zamanlarda fransız tədqiqatçıların apardığı işlərdə yüksək fotokeçiriciliyə və mütəhərriklilik dəliyində azaldılmış hallar sıxlığına malik silisium təbəqələri alınmışdır [3]. Belə təbəqələrin elektron mikroskopiyasının köməyi ilə struktur tədqiqatları nanokristallik silisium qoşulmalarının kiçik həcmi paya (10%-dən aşağı) malik olmasını göstərmişdir. Bu nanokristallik silisium qoşulmalarının ölçüləri 3-5 nm olmuşdur (şəkil 1).

Müəyyən olunmuşdur ki, təbəqələrdə həm kubik, həm də heksaqonal silisium nanokristallitləri mövcuddur. Bu səbəbdən, material polimorf silisium $\mu\text{-Si}$ adlandırılmışdır. $\mu\text{-Si}$ təbəqələrinin xarakteristikaları a-Si:H standart təbəqələrin xarakteristikalarından nəzərə çarpacaq dərəcədə üstündür – məsələn, $\mu\tau$ hasil $\mu\text{-Si}$ təbəqələrində iki tərtib yüksək, mütəhərriklilik dəliyində hallar sıxlığı isə bir tərtib aşağıdır. Beləliklə, göstərilmişdir ki, bir neçə nm ölçülü nanokristallik hidrogenləşdirilmiş silisium qoşulmalarından ibarət olan amorf silisium təbəqələri bircins a-Si:H təbəqələri ilə müqayisədə yüksək fotokeçiriciliyə və stabilliyə malik ola bilər.

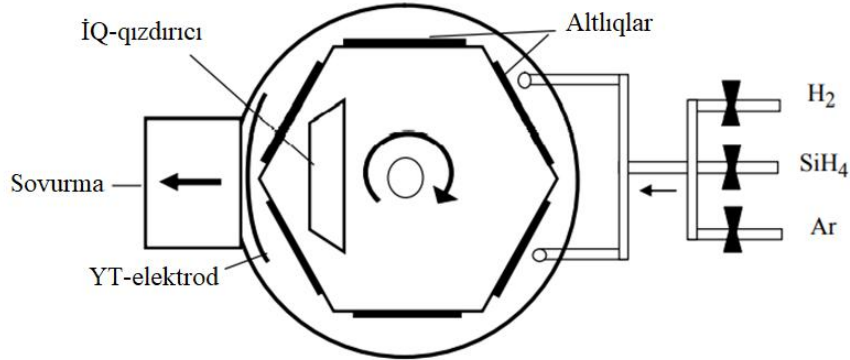
a-Si:H təbəqələrinin çəkilməsi verilən məsələyə uyğunlaşdırılmış, MO-500-1 yağsız sovrulma modullu «KOHT» maqnetron tozlandırılma qurğusu olan bir kameralı texnoloji kompleks əsasında plazmokimyəvi çökdürmə (PKÇ) metodu ilə aparılmışdır. Konstruktiv baxımından cihaz özündə vakuüm aqreqatını, idarəetmə şkaflını və ikikanallı uzlaşdırıcı qurğulu YT-generatoru birləşdirir [4].

Su ilə soyudulan diametri 600 mm və hündürlüyü 350 mm olan vakuüm kamerası yan səthində altı maqnetron tozlandırıcı sistemlərin quraşdırılması üçün unifikasiya olunmuş yerlərə malikdir. Kameranın alt qapağının mərkəzində elektrik intiqallı (2-20dövr/dəq) daşaq valı yerləşir. Dayaq valının üzərində çıxarıla bilən

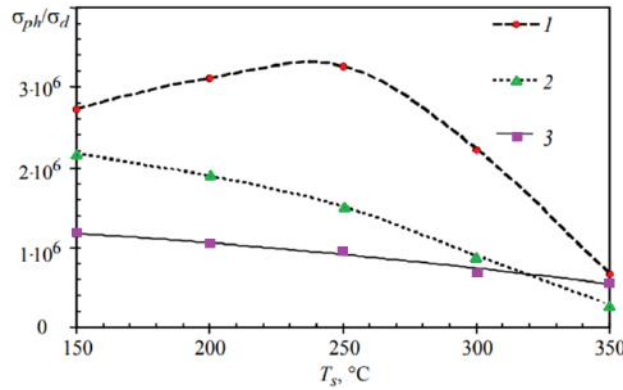
altlıq tutucusu – baraban yerləşir. Elə burada YTÇ-nin YK-elektrodunun qoşulması üçün elektrik girişləri, qızdırıcılar və termocütlər yerləşmişdir. Kameranın üst qapağında tozlandırılma proseslərinin vizual nəzarəti üçün pəncərə və manometrik lampaya yerləşir. Üst qapaq

pnevmo intiqalın köməyi ilə qaldırılır və kənara sürüldürülür ki, nəticədə altlıq tutucusu çıxarıla və quraşdırıla bilər.

Vakuüm kamerasının sxematik təsviri şəkil 2-də təqdim olunur.



Şəkil 2. Bir kameralı «KOHT» kompleksi əsasında plazmokimyəvi çökdürmə metodunun reallaşması sxemi.



Şəkil 3. a-Si:H təbəqələr üçün 100 mVt/sm² işıqlanmada σ_{ph} fotokeçiriciliyin σ_d qaranlıq keçiriciliyə nisbətinin altlığın temperaturundan çökdürmənin müxtəlif rejimlərində asılılığı (barabanın fırlanma sürəti 4 dövr/dəq.):
1 – $w = 55 \text{ mVt/sm}^2$, $P = 25 \text{ Pa}$; 2 – $w = 55 \text{ mVt/sm}^2$, $P = 20 \text{ Pa}$; 3 – $w = 27,5 \text{ mVt/sm}^2$, $P = 25 \text{ Pa}$.

PKÇ diod sisteminin $30 \times 24 \text{ sm}^2$ sahəyə malik sektor elektrodu kameranın daxili yan səthində sovurma sistemi ilə üz bəz yerləşir və YT-generatorun uzlaşdırıcı kanallarından birinə birləşir. Altlıq tutucusunun barabanı yan səthlərində ümumi sahələri 1400 mm^2 olan altlıqlar yerləşən altıüzlü şəklində ha zırlanmışdır. Altlıq tutucusu kameradan elektrik baxımından izolə olunmuşdur.

Aralarındakı məsafə 40-50 mm olan fırlanan altlıq tutucusu-baraban və YT-elektroddla yaranan kvazisi-lindrik elektrod sistemin həndəsi ölçüləri, PKÇ sistemi üçün $\frac{1}{4}$ təşkil edən təbəqələrin çökdürülmə müddətinin barabanın bir fırlanma perioduna nisbəti ilə təyin olunur.

Qurğunun təqdim olunan konstruksiyası təbəqələrin yüksək məhsuldarlığını və qalınlığa görə bərabərliyini təmin edir və fotoçeviricilərin bir vakuüm tsiklində müxtəlif strukturlu inteqral modullarının formalaşması imkanını nəzərdə tutur [5].

İQ-qızdırılma sistemi altlıq tutucusunun daxilində yerləşmiş KHM qızdırıcı kabeli əsasında hazırlanır və onun temperaturunu 100-350°C temperatur diapazonunda stabiləşdirir.

Turbomolekulyar TMH-500 və forvakuüm HBP-16D nasosları əsasında vakuüm sistemi kamerdə $2 \cdot 10^{-4} \text{ Pa}$ qalıq təzyiqini təmin edir. Vakuuma və texnoloji qazların təzyiqinə nəzarət istilik və ionlaşdırıcı çeviricilərin köməyi ilə həyata keçirilir.

PKÇ-nin rellaşması zamanı sovurulan qazlar selinin drosselləşdirilməsi diafraqmalı magistralın köməyi ilə baş verir. Bu qaz qarışığının kiçik sərfini (0,5-11/saat) təmin edir və forvakuüm nasosunun çıxışında skrubberin quraşdırılması vacibliyini aradan götürür. İşçi qazların verilməsi Ar, SiH₄, H₂, N₂, O₂ – beş xarici qaz magistralı qoşulmuş vahid qaz kollektoru ilə klapnlar vasitəsi ilə birləşdirilmiş qaz paylaşdırıcı sistemlərin köməyi ilə həyata keçirilir. Hər bir magistral üzərində qapadıcı klapnlar, süzgaclar və təzyiq stabiləşdiriciləri quraşdırılır. Hidrogen mənbəyi kimi kationdəyişdirici membran əsasında bərk polimer elektrolitli elektroliz generatoru istifadə olunur.

Aşqarlanmamış a-Si:H təbəqələri PKÇ metodu ilə 80% Ar+20% SiH₄ qarışığından ibarət diod YT-sisteminde sital, kvars və silisium altlıqlar üzərinə çökdürülmüşdür. Çökdürülmə fırlanan (fırlanma sürəti 4-10dövr/dəq) naraban-altlıq tutucusunda həyata keçirilir. a-Si:H təbəqələrinin çökdürülməsi şəraitlərinin

optimallaşdırılması zamanı altlığın temperaturu (150-350°C), YT – boşalmasının xüsusi gücü (27,5-55mVt/sm²) və qaz qarışığının təzyiqi (20-25pa) variyasiya edilmişdir. Variasiya olunan əsas parametrlər kimi altlığın temperaturu seçilmiş, alınan təbəqələrin keyfiyyət kriteriyası kimi isə fətohəssaslıq – yəni, fətokeçiriciliyin qaranlıq keçiriciliyə nisbəti σ_{ph}/σ_d olmuşdur.

Təbəqələrin çökdürülməsinin müxtəlif rejimləri üçün fətokeçiriciliyin qaranlıq keçiriciliyə nisbətinin alınan temperatur asılılıqları şəkil 3-də verilmişdir. Optimal rejim kimi 1 əyrisi götürülə bilər.

300-350°C temperaturda çökdürülmüş a-Si:H təbəqələrinin fətohəssaslığının düşməsi σ_{ph} fətokeçiriciliyin azalması və σ_d -nin artması ilə şərtlənir, bu da çox güman ki, altlıqların belə temperaturlarında hidrogenin azlığından irəli gələn mütəhərrik dəlikdə lokallaşmış halların sıxlığının artması ilə bağlıdır.

Baraban-altlıq tutucusunun sürətinin dəyişməsi alınan təbəqələrin elektrofiziki parametrlərinə nəzərə cərpacaq təsir göstərmir. Lakin, tərpnəməz altlıq tutucusu üzərinə çökdürülmə zamanı çökdürülən təbəqələrin keyfiyyəti pisləşir: makrostruktur yaranır və fətohəssaslıq 10⁴-ə qədər azalır.

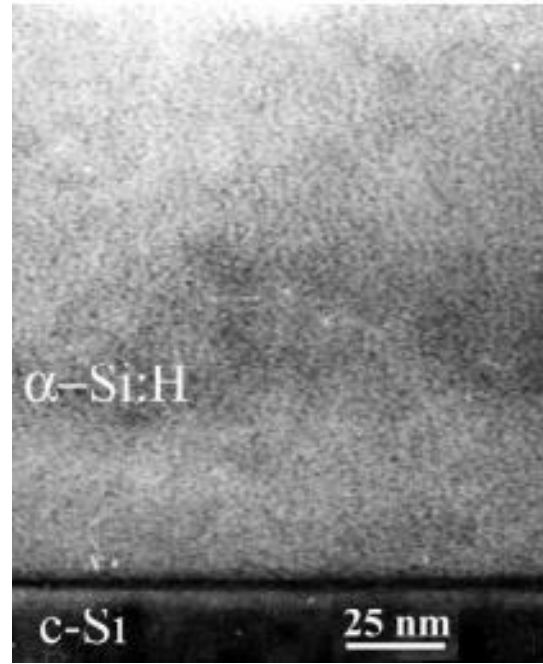
Alınan nəticələr PKÇ metodu ilə fırlanan baraban-altlıq tutucusu üzərində cihaz keyfiyyətli keçiriciliklərin σ_{ph}/σ_d nisbəti kifayət qədər kiçik temperaturlarda 3·10⁶-ya bərabər olan a-Si:H təbəqələrinin alınması mümkünlüyünü sübut edir.

Hidrogenləşdirilmiş silisium təbəqələrinin struktur xassələri elektron mikroskopiya (EM) və sürətli elektronların difraksiyası metodlarının köməyi ilə öyrənilmişdir. EM köməyi ilə tədqiqatlar silisium altlıqlar üzərində 0,5 mkm qalınlıqlı a-Si:H təbəqələr və NaCl altlıqlar üzərinə çökdürülən 30-50 nm qalınlıqlı sərbəst a-Si:H təbəqələr üçün aparılmışdır.

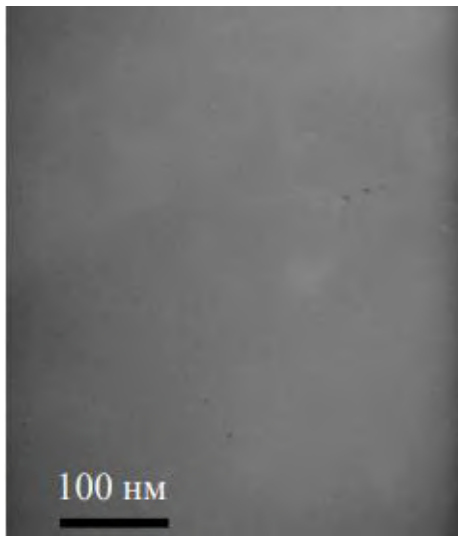
Silisium altlıq üzərində 0,5 mkm qalınlıqlı a-Si:H təbəqələrin elektron-mikroskop tədqiqi EM-420 (Philips) elektron mikroskopunda 100 kV sürətləndirici gərginlikdə həyata keçirilmişdir. Təbəqənin səth müstəvisində təsvirin alınması üçün silisium altlıq əks tərəfdən aşağı enerjili ion dəstəsi vasitəsi ilə şüalandırılır.

Hidrogenləşdirilmiş 30-40 nm qalınlıqlı sərbəst silisium təbəqələrin strukturlarının tədqiqi EM-125 elektron mikroskopunda 100 kV sürətləndirici gərginlikdə elektron mikroskopiya və mikrofraksiya metodları ilə aparılır. Təbəqələr monokristallik NaCl üzərinə çökdürülür, sonradan distilə olunmuş suda yerləşən mis tor səthinə köçürülür.

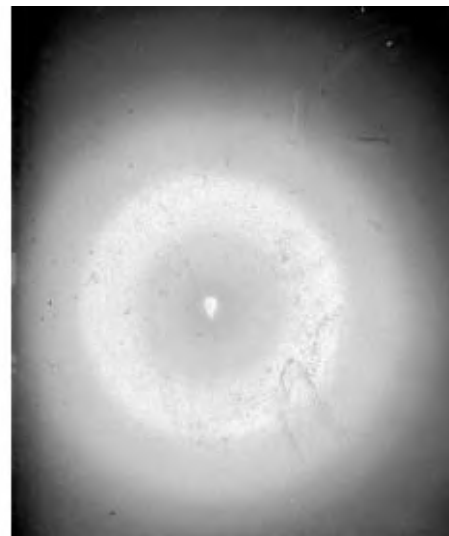
Çökdürülmənin optimal şəraitlərində alınmış a-Si:H təbəqələrinin elektron mikroskopiyanın nəticələrinə görə bu təbəqələr bircinsdir. Şəkil 4-də silisium altlıq üzərində 0,5 mkm qalınlıqlı a-Si:H təbəqəsinin elektron mikroskopiyanın mikrofotosu verilmişdir. Bu isə alınan təbəqələrin cihaz keyfiyyəti olmasına əlavə sübutdur.



Şəkil 4. Sabit qaz qarışığında çökdürmə ilə alınan a-Si:H təbəqəsinin kəsiyinin elektron mikroskopiyası.

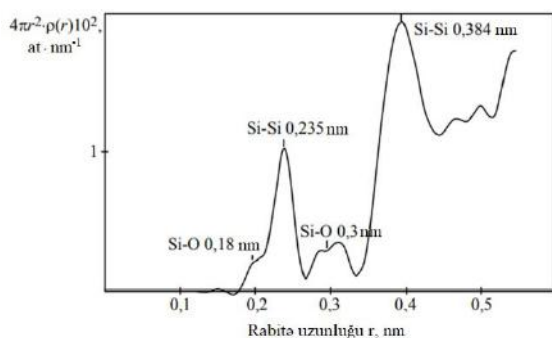


a)



b)

Şəkil 5. Sabit qaz qarışığında alınmış 40 nm qalınlıqlı a-Si:H təbəqəsinin səthinin (a) elektron mikroskopiyası və ona uyğun elektroqram (b).



Şəkil 6. Sürətli elektronların difraksiyası metodunun köməyi ilə alınmış paylanmanın radial funksiyası.

Səthin EM mikrofotusu 40 nm qalınlıqlı NaCl-dən olan altlığın üzərində eyni rejimdə a-Si:H təbəqəsi üçün alınmışdır. Təbəqə bircinsdir və altlığa paralel olan müstəvidə onun mikrodifraktoqramı şəkil 5b-də verilmişdir. Difraksiya mənzərəsi amorf silisiuma xas olan yayılmış halqalardır ki, bu da a-Si:H təbəqəsində

amorf fazanın həcmi payının böyük üstünlüyündən xəbər verir.

Təbəqələrin struktur bircinsliyi haqqında sürətli elektronların difraksiyası əsasında paylanmanın radial funksiyası da xəbər verir. Şəkil 6-da 40 nm qalınlıqlı a-Si:H təbəqələr üçün alınmış paylanmanın radial funksiyası təqdim olunur.

Qrafikdə 0,235 nm uzunluqlu Si-Si əlaqəsi üçün birinci koordinasiya sferası və 0,384 nm uzunluqlu Si-Si əlaqəsi üçün ikinci koordinasiya sferası çox dəqiq görünür. 0,45 nm uzunluqlu Si-Si əlaqəsi üçün ikinci koordinasiya sferası o qədər də dəqiq deyildir ki, bu da a-Si:H təbəqəsində uzaq tərtibin tamamilə olmadığını göstərir. Təbəqədə SiO₂ mövcuddur (Si-O əlaqəsi yaxşı görünür – 0,18 və 0,13 nm), çox güman ki, bu oksid lay təbəqənin üzərində yaranmışdır.

NƏTİCƏ

Beləliklə, təsdiq etmək olar ki, fırlanan altlıq tutucusu üzərinə sabit qaz qarışığında çökdürülmüş a-Si:H təbəqələri bircins və amorfduurlar.

- [1] В.П. Драгунов, И.Т. Неизвестный, В.А. Гридчин. Основы нанoeлектроники. М., 2006.
- [2] Г.Г. Шишкин. Приборы квантовой электроники. М.: СайнсПресс, 2004.
- [3] В.П. Афанасьев, А.С. Гудовских, О.И. Коньков и др. Структура и свойства пленок a-Si:H, полученных методом циклического осаждения // Тонкие пленки в электронике: Материалы X Международного симпозиума. Ч. 1. Ярославль, 1999. С. 150-156.
- [4] В.П. Афанасьев, А.С. Гудовских, В.Н. Неведомский и др. Влияние термообработки на структуру ФТП. 2002. Т. 36, вып. 2. С. 238–243.

- [5] В.П. Афанасьев, А.С. Гудовских, А.З. Казак-Казакевич, А.П. Сазанов. Исследование влияния термообработки на размеры и объемную долю nc-Si:H в аморфных пленках a-Si:H методом просвечивающей электронной микроскопии. Алмазные пленки и пленки родственных материалов: Сб. докладов 5-го Международного симпозиума «Алмазные пленки и пленки родственных материалов», Харьковская научная ассамблея, 22-27 апреля 2002 г., Харьков, Украина. Харьков: ННЦ ХФТИ, ИПЦ «Контраст», 2002. С. 266-269.

Э.А. Керимов

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПЛЕНОК a-Si:H И МОДИФИЦИРОВАНИЕ ИХ СТРУКТУРЫ

Свойства микрокристаллического кремния $\mu\text{-Si:H}$ очень сильно зависят от методов получения и технологических параметров осаждения. По сравнению с аморфным кремнием микрокристаллический кремний имеет высокую проводимость, большую подвижность носителей тока и большее значение коэффициента поглощения в инфракрасной области спектра. Еще одним преимуществом $\mu\text{-Si:H}$ по сравнению с a-Si:H является стабильность параметров этого материала при внешних воздействиях, например освещении. При этом $\mu\text{-Si:H}$ может быть получен практически на том же технологическом оборудовании, что и аморфный кремний.

E.A. Kerimov

PRODUCTION TECHNOLOGY OF a-Si:H FILMS AND MODIFICATION OF THEIR STRUCTURE

The properties of microcrystalline silicon with $\mu\text{-Si:H}$ are highly dependent on the methods of production and technological parameters of deposition. Compared to amorphous silicon microcrystalline silicon has high conductivity, greater carrier mobility and higher absorption coefficient in the infrared region of the spectrum. Another advantage of $\mu\text{-Si:H}$ in comparison with a-Si:H is the stability of parameters of this material under external influences, such as illumination. At the same time $\mu\text{-Si:H}$ can be obtained practically on the same technological equipment as amorphous silicon.

Qəbul olunma tarixi: 19.04.2022