

α -Si:H TƏBƏQƏLƏRİNİN HİDROGEN PLAZMASINDA EMAL EDİLMƏSİ İLƏ ÇÖKDÜRÜLMƏSİNİN TSİKLİK METODU

E.Ə. KƏRİMOV, S.N. MUSAYEVA

Azərbaycan Texniki Universiteti,

Bakı, H. Cavid pros. 35, AZ 1073

E-mail: E_Kerimov.fizik@mail.ru

Altlığın kifayət qədər kiçik temperaturlarında (250°C) yüksək fətohəssaslığa malik α -Si:H təbəqələrinin alınması yollarından biri çəkilmənin fasiləli (tsiklik) rejiminin istifadə olunmasıdır. Bu zaman monosilan mühitində 0,3-25 nm nanoölçü qalınlıqlı α -Si:H təbəqəsinin plazmokimyəvi çökdürülmə tsikli hidrogen plazmasında emal ilə növbələşir. Layların fətohəssaslığının və stabilliyinin artırılmasının digər bir üsulu tərkibi monosilan və hidrogen olan qaz qarışığının nisbətən yüksək təzyiqlərində nanokristallik qoşulmaların kiçik həcmi payı yer alan α -Si:H təbəqələrinin plazmokimyəvi çökdürülmə (PKÇ) metodudur.

Açar sözlər: silisium, təbəqə, fətohəssaslıq, nanoölçü, amorf, silan, həcmi pay, hidrogen plazması.

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

Aralıq tablama ilə hidrogen plazmasında lay-lay (tsiklik) çökdürülmə metodu iki zaman relesi əlavə olunmuş «KOHT» texnoloji kompleksində reallaşır. Zaman relesi verilmiş zaman aralıklarından sonra 20% SiH₄ + 80% Ar olan kamerada qaz qarışığının H₂-yə dəyişilməsini təmin edir. Bununla da zaman relləri α -Si:H nanoölçülü təbəqələrin çökdürülmə və onların hidrogen plazmasında “tablanması” müddətlərini müəyyən edir [1-3].

Təbəqələrin tsiklik çökdürülməsi α -Si:H layının fırlanan baraban-altlıq tutucusunda bərkidilmiş altlıq üzərində plazmokimyəvi çökdürülməsinin və hidrogen plazmasında tablanması periodik növbələşməsidir. Növbələşmə qaz qarışıqlarının kamerada boşalmanın daimi yandıqı zaman həyata keçirilir. Nanoölçü qalınlıqlı α -Si:H laylarının çəkilməsi sabit qaz qarışığında (80% Ar + 20% SiH₄) əvvəlcədən seçilmiş fasiləsiz çökdürülmə üçün optimal olan texnoloji rejimdə aparılır: altlığın temperaturu – 250°C; YT-boşalmanın gücü – 55 mVt/sm²; baraban-altlıq tutucusunun fırlanma sürəti – 4 dövr/dəq.; qaz qarışığının təzyiqi – 25 Pa; çökdürülmə sürəti – 5-7 nm/dəq.

Tsiklik çökdürülmə və hidrogen plazmasında termoemal prosesində qaz qarışığının tərkibinin dəyişdirilməsi zamanı α -Si:H layının çökdürülməsinin bir

tsikli müddətində qalınlığı variasiya edilir. Hidrogen plazmasında kiçik qalınlıqlı laylar üçün tablamanın təsiri nisbətən az – təxminən, 1-2 dəqiqə zaman müddətində özünü göstərir. Bu səbəbdən, eksperimentlərin gedişində hidrogendə tablamanın müddəti fiksə olunmuş və 2 dəqiqə təşkil etmişdir. Qeyd etmək lazımdır ki, qaz qarışığının tərkibinin çökdürülmə və termoemal prosesində qərarlaşması bir neçə saniyə – yəni, çökdürülmə və tablama müddətləri ilə eyni olmuşdur. Bu şərt isə təbəqənin qalınlığının çökdürülmədən termoemala kimi olan keçid mərhələdə artması davam edən bir şərait yaratmışdır.

Tsiklik çökdürülmə texnoloji rejiminin parametrləri cədvəl 1-də verilmişdir. Əsas variasiya edilən parametr bir layın 1-dən 4 dəqiqəyə kimi çəkmə çökdürülmə müddəti olmuşdur. Bu isə layın L qalınlığının bir tsikl ərzində 6-dan 24 nm-ə qədər dəyişilməsinə gətirmişdir (cədvəl 2). Tsikl ərzində çökdürülən layın qalınlığı təbəqənin ümumi qalınlığının (kvarts altlıq üzərində təbəqələr üçün) tsiklərin sayına nisbəti ilə təyin olunur.

Struktur xassələrinin tədqiqi silisium altlıq üzərində qalınlığı təxminən 0,5 mkm olan təbəqələr üçün aparılmışdır. Altlıqlar isə bir tsikl müddətində çökdürülən tsiklik rejimdə hidrogen plazmasında tablama ilə alınmış qalınlığı 16 nm olan laylardan ibarət olmuşdur.

Cədvəl 1.

α -Si:H təbəqələrinin tsiklik çökdürülməsinin parametrləri

Parametr	Çökdürülmə	Tablama
Qaz qarışığı	80 % Ar + 20% SiH ₄	H ₂
Zaman t, dəq.	1-4	2
Tsikl müddətində çökdürülən təbəqənin qalınlığı L, nm	6–26	–
Boşalmanın xüsusi gücü w, mVt/sm ²	55	55
Təzyiq P, Pa	25	25
Altlıqların temperaturu Ts, °C	250	250
Çökdürülmə sürəti, nm/dəq	5–6	–
Təbəqələrin qalınlığı d, nm	40–650	
Altlıq tutucusunun fırlanma sürəti, dövr/dəq.	8	
Altlıqlar	Sital, silisium, kvarts şüşə	

Müxtəlif çökdürülmə rejimlərində alınmış təbəqələrin qalınlığı

Çökdürülmə rejimi	Çökdürülmə müddəti t , dəq.	Tsikl müddətində çökdürülən təbəqənin qalınlığı L , nm	Tsikllərin sayı	Təbəqənin toplam qalınlığı, d , nm
Fasiləsiz	96	470	-	470
Tsiklik (4/2)	4	26	24	630
Tsiklik (3/2)	3	16	32	515
Tsiklik (2/2)	2	12	40	480
Tsiklik (1/2)	1	6,5	96	620

Təbəqələrin EM mikrofotosunda onların laylı struktura malik olmaları dəqiq görünür. Laylar arasında addım bir tsikl müddətində çökdürülən α -Si:H layın qalınlığına uyğun gəlmişdir (şəkil 1a).

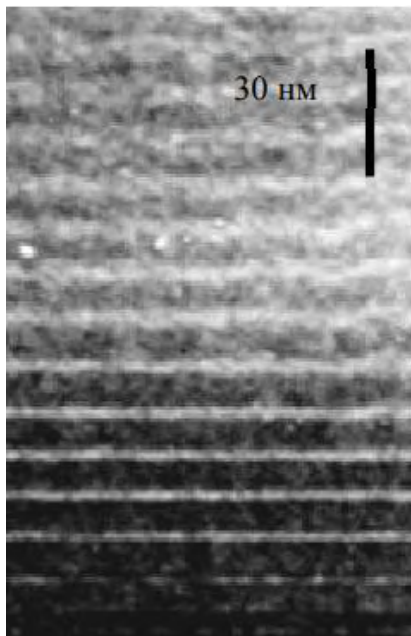
Qaranlıq zolaqlar – amorf hidrogenləşdirilmiş kiçik konsentrasiyalı silisium oblastlarıdır. İşıqlı zolaqlar isə hidrogen plazmasında emal nəticəsində yaranan hidrogenlə zəngin olan oblastlardır. Hidrogenin böyük konsentrasiyalı oblastları kiçik sıxlığa malikdir ki, bunu da EM təsvirlərində elektron-mikroskopik kontrast göstərir.

α -Si:H amorf matrisada nanokristallik qoşulmaların mövcudluğu təbəqənin səthinin elektron mikroskopiyasının nəticələri sübut edir (şəkil 1b). Mikrofoto təsvirlərin analizi amorf matrisada nəinki silisiumun nanokristallik qoşulmalarının ölçülərini təyin etməyə imkan verir, həm də qoşulmaların ölçülərinə görə paylanma histoqramlarını qurmağa, nanokristallik fazanın tutduğu həcmi payı qiymətləndirməyə şərait yaradır (şəkil 2a).

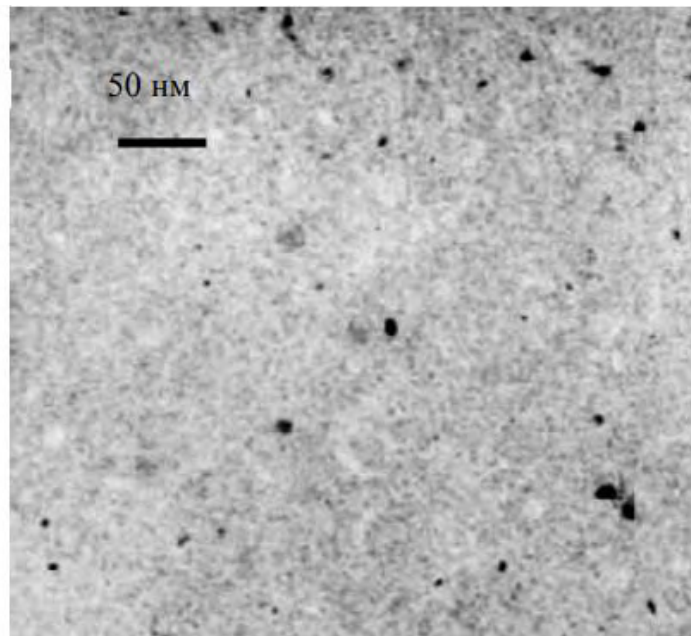
Hidrogen plazmasında aralıq tablama istifadə olunmaqla tsiklik rejimdə alınan 16 nm qalınlıqlı α -

Si:H təbəqəsi üçün çökdürülmədən sonra nanokristalların en kəsiyinin orta sahəsi $\sim 20 \text{ nm}^2$, orta diametr isə 4,5 nm-dir (şəkil 2b). Belə təbəqə üçün nanokristallik qoşulmaların ümumi həcmi payı 1%-dən azdır. Belə kiçik həcmi pay səbəbindən raman səpilməsi spektrlərində nanokristallik fazanın mövcudluğunu aşkar etmək mümkün deyil.

Nəzərə almaq lazımdır ki, EM vasitəsi ilə görmək mümkün olan təbəqənin qalınlığı 30-50 nm-dir və deməli mikrofotoda (şəkil 2a) iki-üç lay görünür. Bu səbəbdən yalnız nanokristallik fazanın 1%-dən kiçik həcmi payını qiymətləndirmək mümkündür. Nanokristallik fazanın kiçik həcmi payı səbəbindən raman səpilməsi spektrlərində bu fazanın mövcudluğunu aşkar etmək mümkün olmur. Şəkil 3b-də laylı təbəqə üçün 550°C temperaturda tablamadan əvvəl və sonra raman səpilməsi spektrləri təqdim olunmuşdur. Spektrlərdə amorf silisiuma uyğun gələn $\omega=480 \text{ sm}^{-1}$ olduqda yalnız bir enli maksimum seçmək olar. Nanokristallik silisiuma uyğun gələn $\omega=516-520 \text{ sm}^{-1}$ olduqda isə piki ayırmaq mümkün deyil [4, 5].

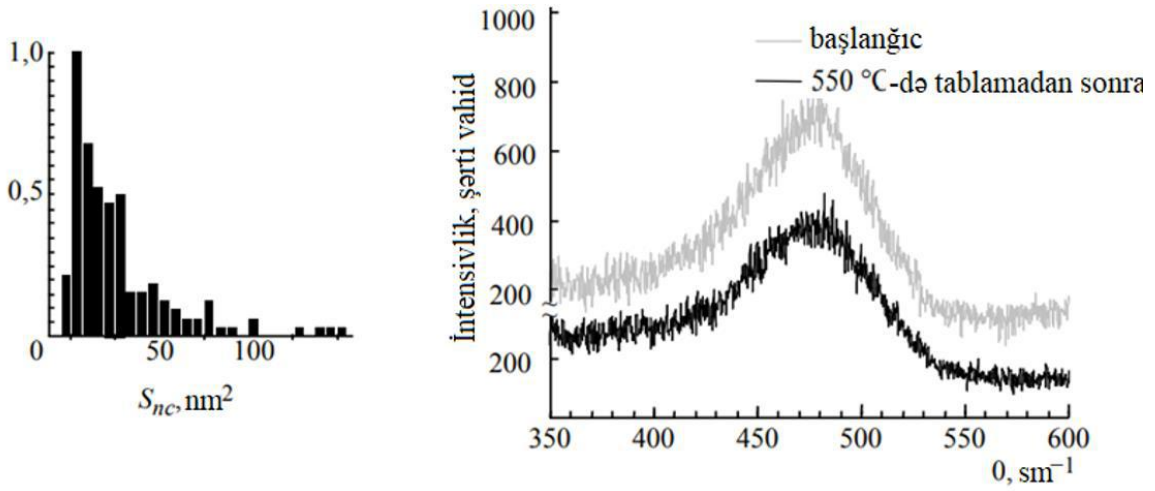


a)

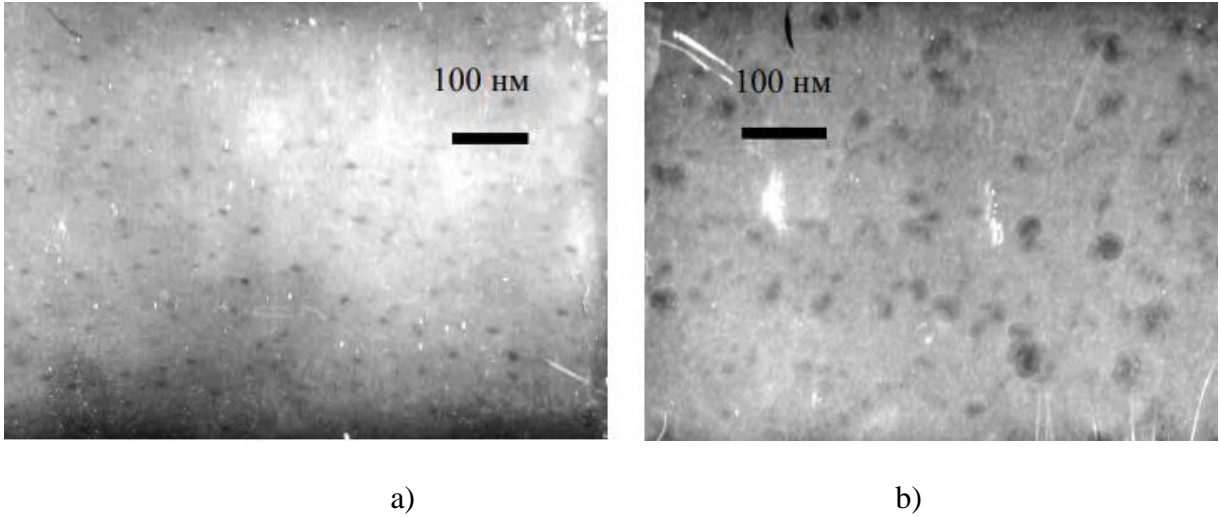


b)

Şəkil 1. Elektron mikroskopiyasının mikrofotosu: a – en kəsis və b – qalınlığı 515 nm olan α -Si:H təbəqəsinin səthi (bir tsikl müddətində çökdürülən layın L qalınlığı 16 nm-dir)



Şəkil 2. Tsiklik metoddla alınmış qalınlığı $L = 16$ nm olan α -Si:H təbəqəsi üçün en kəsiyi sahəsində nanokristallitlərin paylanması histoqramı (a), başlangıç halda və vakuumdə 550°C -də tablamadan sonra ramanov paylanması spektrləri.



Şəkil 3. EM mikrofotoları: a – hidrogen plazmasında emaldan sonra 40 nm qalınlıqlı α -Si:H təbəqəsi (12 dəqiqə, 200mVt/sm^2); b – tsiklik rejimdə alınmış Si:H təbəqəsi ($L = 12$ nm, $t_{ann} = 3$ dəqiqə, $w = 100$ mVt/sm²).

Tsiklik çökdürülmə prosesində nanokristallik qoşulmaların formalaşmasının mexanizmini təyin etmək üçün NaCl altlıq üzərində hidrogenli plazmada emalın üç müxtəlif variantında α -Si:H nazik təbəqələrinin (təxminən 40 nm) struktur modifikasiyalarının tədqiqi həyata keçirilmişdir:

1. Fasiləsiz çökdürülmə üçün optimal şəraitdə qalınlığı 40 nm olan α -Si:H təbəqəsinin sonradan hidrogenli plazmada emalı ilə çökdürülməsi [eyni temperatur (250°C) və qaz qarışığının (80% Ar + 20% H₂) eyni təzyiqində (25 Pa), YT-boşalmanın lakin xüsusi gücün müxtəlif qiymətləri (55 - 200 mVt/sm²) və tablama müddətində (8-12 dəq.)].

2. Fasiləsiz boşalma şəraitində aralıq tablama ilə üç layın tsiklik çökdürülməsi ($L=12$ nm, tablama müddəti 3 dəqiqə, $w = 100$ mVt/sm², $P = 25$ Pa, $T_s=250^{\circ}\text{C}$).

3. Qaz qarışıqlarının dəyişdirilməsi şəraitində aralıq sovrulma ilə tsiklik çökdürülməsi. Çökdürülmə tsiklindən sonra boşalma söndürülür, silan tamamilə sovrulur, sonradan hidrogen daxil edilir və boşalma işə salınır. Çökdürülmə aşağıdakı şəraitlərdə aparılır: $L=6$ - 12 nm, tablama müddəti 3-9 dəqiqə,

$w=100$ - 200mVt/sm^2 , $P = 25$ Pa, $T_s = 250^{\circ}\text{C}$, tsikllərin sayı – $L = 12$ nm üçün 3, $L = 6$ üçün isə 6.

Hidrogen plazmasında biricins α -Si:H təbəqələrinin 8 dəqiqə müddətində 55 mVt/sm² xüsusi güclə tablanması zamanı təbəqələr biricinsliyini saxlayır. 110mVt/sm^2 xüsusi güclə 12 dəqiqə müddətində tablanma zamanı təbəqədə zəif ayırd edilən kontrast müşahidə olunur. 200 mVt/sm² xüsusi güclə 12 dəqiqə müddətində tablanma zamanı isə təbəqədə nanoölçülü qoşulmalar formalaşır. Şəkil 3a-da belə təbəqənin səthinin işıqlı polost kontrastda EM mikrofotosu verilmişdir. Təbəqədə elektron-mikroskopik kontrastlı həcmi payı 1%-dən artıq olmayan 3-4 nm ölçülü qoşulmalara malik olur (şəkil 3a). Fotoda kontrastı təbəqənin səthində hidrogen plazmasında tablanmanın təsiri altında yaranan nanokristallik qoşulmalar verir. Lakin, bu təbəqə üçün mikrodifraksiya metodu ilə alınan difraksiya mənzərəsi vizual olaraq amorf təbəqə üçün olduğu kimi görünür. Çox güman ki, kiçik həcmi pay və nanokristallitlərin ölçüləri ilə şərtlənir.

Boşalmanın daimi təsiri şəraitində tsiklik metoddla alınan təbəqə formalaşması kiçik zaman müddətində və hidrogenli plazma şəraitində aşağı tablama gücündə baş

verən nanokristallik qoşulmalara malik olmuşdur (şəkil 3a). Lakin, aralıq sovrulma ilə tsiklik rejimdə alınan təbəqələrdə hətta 200 mVt/sm² xüsusi gücdə və 9 dəqiqə müddətində hidrogenli plazmada tablama nanokristallik qoşulmalar mövcud olmur.

Alınan nəticələr əsasında demək olar ki, nanokristallik qoşulmaların formalaşması plazmada tablama zamanı qalığ silanın hidrogenlə güclü qarışığından çökmə hesabına baş verir. Qaz qarışıqlarının dəyişdirilməsi təxminən bir dəqiqə müddətində həyata keçirilir. Deməli, tsiklik çökdürülmə zamanı plazmada tablama prosesini iki mərhələyə bölə bilərik:

1) hidrogenlə güclü qarışdırılmış silandan çökdü-

rülmə hesabına nanokristallik qoşulmaların formalaşması;

2) hidrogen plazmasında qalınlığı artan təbəqənin səthinin onun hidrogenlə doymasına gətirən emalı.

NƏTİCƏ

Beləliklə, tsiklik çökdürülmə metodunun istifadə olunması (hidrogen plazmasında aralıq tablama ilə hidrogenin qeyri-bərabər paylanması ilə şərtlənən laylı struktura malik α -Si:H təbəqələrini almağa imkan verir. Bu zaman həcmi payı 1%-dən az olan nanokristallik əlavələrin ölçüsü 4-5 nm olmuşdur.

- [1] *В.П. Афанасьев, А.С. Гудовских, О.И. Коньков и др.* ФТП, 2000, т. 34, вып. 4, с. 495–498.
- [2] *R. Butte, S. Vignoli, M. Meaudre et al.* J. Non-Crystalline Solids. 2000, v. 266–269, p. 263–268.
- [3] *С.В. Гайслер, О.И. Семенова, Р.Г. Шарфутдинов, Б.А. Колесников.* ФТТ, 2004, т. 46, вып. 8. с. 1484–1488
- [4] *И.А. Курова, Н.А. Ормонт, Е.И. Теруков и др.* ФТП, 2001, т. 35, № 3, с. 367–370.

- [5] *В.П. Афанасьев, А.С. Гудовских, А.П. Сазанов.* Диффузия водорода в слоистых пленках аморфного гидрогенизированного кремния. Пленки – 2002: Материалы международной научно-технической конференции «Тонкие пленки и слоистые структуры», 26–30 ноября 2002 года. Ч. 2. М.: МИРЭА, 2002, с. 84–87.

Е.А. Kerimov, S.N. Musayeva

CYCLIC METHOD OF DEPOSITION OF α -Si:H FILMS WITH INTERMEDIATE TREATMENT IN HYDROGEN PLASMA

One way to obtain α -Si:H films with high photosensitivity at relatively low substrate temperatures (about 250 °C) is the use of intermittent (cyclic) deposition mode, in which the plasma chemical deposition cycle of α -Si:H film of nanoscale thickness (0,3-25 nm) in monosilane medium alternates with its treatment in hydrogen plasma. Another way to increase the photosensitivity and stability of the layers, as noted earlier, is the method of PCC at relatively high pressures of a gas mixture containing monosilane and hydrogen, α -Si:H films with a small volume fraction of nanocrystalline inclusions.

Э.А. Керимов, С.Н. Мусаева

ЦИКЛИЧЕСКИЙ МЕТОД ОСАЖДЕНИЯ ПЛЕНОК α -Si:H С ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ОБРАБОТКОЙ В ВОДОРОДНОЙ ПЛАЗМЕ

Одним из путей получения пленок α -Si:H с высокой фоточувствительностью при сравнительно низких температурах подложки (около 250 °C) является использование прерывистого (циклического) режима нанесения, при котором цикл плазмохимического осаждения пленки α -Si:H наноразмерной толщины (0,3-25 нм) в среде моносилана чередуется с ее обработкой в водородной плазме. Другим способом повышения фоточувствительности и стабильности слоев, как отмечалось ранее, является метод ПХО при относительно высоких давлениях газовой смеси, содержащей моносилан и водород, пленок α -Si:H с малой объемной долей нанокристаллических включений.

Qəbul olunma tarixi: 07.10.2022