ИШҚОРИЙ МЕТАЛЛ АТОМЛАРИНИНГ ДОНАДОРЛИК ЧЕГАРАЛАРИДАГИ ЗАРЯД КЎЧИШИГА ТАЪСИРИ

Л.О.ОЛИМОВ

Изучено влияние щелочных металлов на дрейф носителей заряда межзеренных границ в поликристаллическом кремнии. Полученные результаты показывают, что увеличение концентрации активно легирующих примесей в процессе диффузии десорбции, а также адсорбции щелочных металлов вдоль межзеренных границ происходит рост потенциального барьера.

Influence of alkaline metals on driftage of the charge carriers of grain boundaries in polycrystalline silicon has been studied experimentally. The obtained results show that the potential barrier grows of the increase concentrations of electrically active do pants (NG), and during diffusion desorption, and also adsorption of alkali metal atoms along grain boundaries.

Ҳозирги кунда ишқорий металл атомларининг поликристалл кремнийнинг электрофизик хоссаларига, хусусан, уларнинг донадорлик чегараларидаги заряд кўчишига таъсири, адсорбция ҳодисалари ҳам амалий ҳам назарий жиҳатдан етарли даражада ўрганилган [1-4]. Ишқорий металл атомларининг радиацион нуқсонлар билан ўзаро таъсири натижасида E~0,15 эВ; E~0,17эВ; E~0,3 эВ ва E~0,36 эВ энергетик сатҳли нуқсонлар бартараф бўлиб, донадорлик чегараларидаги ҳолат зичлиги камайяди [1, 2]. Улар томонидан донадорлик чегараларидаги рекомбинация марказларининг бартараф қилиниши яримўтказгичли асбоблар ва қуёш элементларининг радиация нурлари оқимига чидамлилигини оширади. Термик ишлов бериш жараёнида донадорлик чегаралари бўйлаб диффузияланган ишқорий металл атомларининг адсорбцияланиши поликристалл кремний ҳажмида потенциал тўсиқ баландлигининг ортишига олиб келиши [4], шунингдек, ишқорий металл атомларининг киритилиши поликристалл кремний асосида p-n ўтишли структуралар олиш имкониятлари кўрсатиб берилган [1]. Бироқ, ишқорий металл атомларининг поликристалл кремний сирт соҳа донадорлик чегараларидаги заряд кўчишига таъсири тўла ҳал қилинмаган муаммолардан биридир. Буларга боғлиқ ҳолда легирлаш ҳамда p-n структуралар олиш жараёнларида ишқорий металл атомларининг поликристалл кремний сирт соҳа донадорлик чегарасидаги заряд кўчишига таъсирини ўрганиш қизиқиш уйғотади.

Тадқиқотлар олиб бориш учун солиштирма қаршилиги $\rho \sim 1$ Ом·см, донадорлик ўлчами 100÷300 мкм бўлган p-хилли қуйма усулда олинган поликристалл кремний намуналари танлаб олинди [5]. Киришмалар сифатида ишқорий металл (Li, Na, K, Cs) атомларидан, уларни намуналар сирт юзасига киритиш учун эса мас-сеператорсиз ионли тезлатгич қурилмасидан фойдаланилди [1]. Ишқорий металл атомларини намуналарнинг сирт юзасига E~30 кэВ энергия ва $D \sim 10^{13}$ см$^{-2}$ миқдорда киритилди. Ишқорий металл атомлари киритилган намуналарга 300÷1000 К ва 10^{-6} Торр вакуум шароитида термик ишлов берилди. Намуналарнинг солиштирма қаршлиги 4 зондли ва Ван-дер-Пау усулларида ўлчанди. Ўлчашлар имплантациягача ва термик ишлов беришнинг белгиланган ҳароратларида олиб борилди.

Маълумки, киришмаларнинг донадорлик чегараларидаги заряд кўчишига таъсирини ўрганиш усулларидан бири легирлаш усули ҳисобланиб, у киришмалар киритилган сирт юзанинг ўтказувчанлигини ўлчашга асосланган [6]. Усул, агар айнан ковак ва электрон ўтказувчанли намуналар қўлланса, кенг энергия оралиқларида маълумотлар олиш, жумладан, донадорлик чегараларининг электрон хоссаларини, чегарадаги ҳолат зичликларини ўрганиш имконини беради. Ўтказувчанлик ва донадорлик ўлчами $\langle a \rangle$ ни билган ҳолда потенциал тўсиқ баландлигини (1) ифода ёрдамида аниқлаш мумкин.

$$\sigma = \frac{e}{k}\langle a \rangle AT \ \exp\left(-\frac{e\varphi}{kT}\right) \quad (1)$$

Бу ерда e – электрон заряди, k – Больцман доимийси, $\langle a \rangle$ – донадорлик ўлчами, A –Ричардсон эффективлик доимийси, T – ҳарорат, φ – потенциал тўсиқ баландлиги. Потенциал тўсиқ баландлиги икки

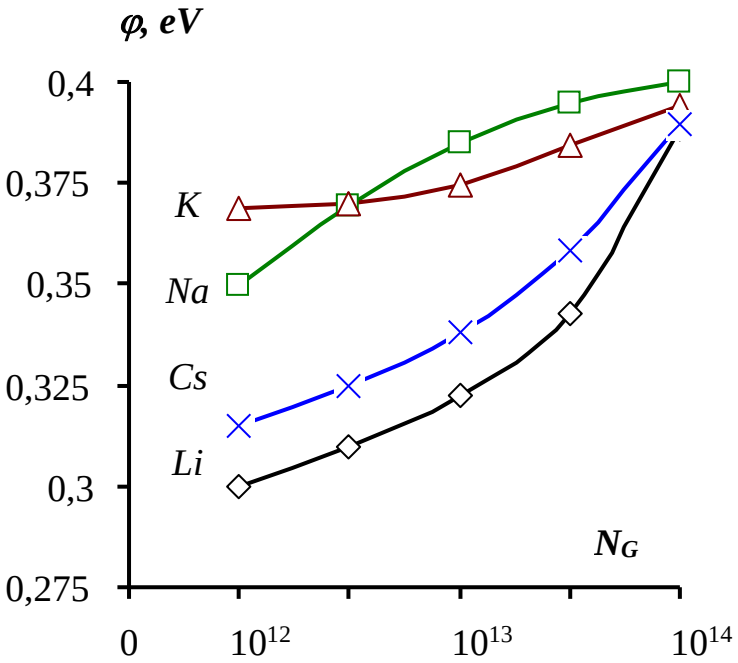
туташган донадорлик кенглиги (*W*) ҳамда электрик жиҳатдан фаол бўлган киришмаларнинг концентрациясига (N_G) қуйидагича боғлиқликка эга:

$$\varphi = \frac{eN_G W^2}{2\varepsilon} \quad (2)$$

Бу ерда ε - диэлектрик доимий.

1-расмда потенциал тўсиқ баландлигининг поликристалл кремний сирт юзасида ҳосил бўлган моноқатламдаги ишқорий металл атомлари концентрациясига боғлиқлиги тасвирланган. Олинган натижалардан кўринадики, моноқатламдаги ишқорий металл атомлари концентрациясининг ортиши потенциал тўсиқ баландлигининг ортишига олиб келади.

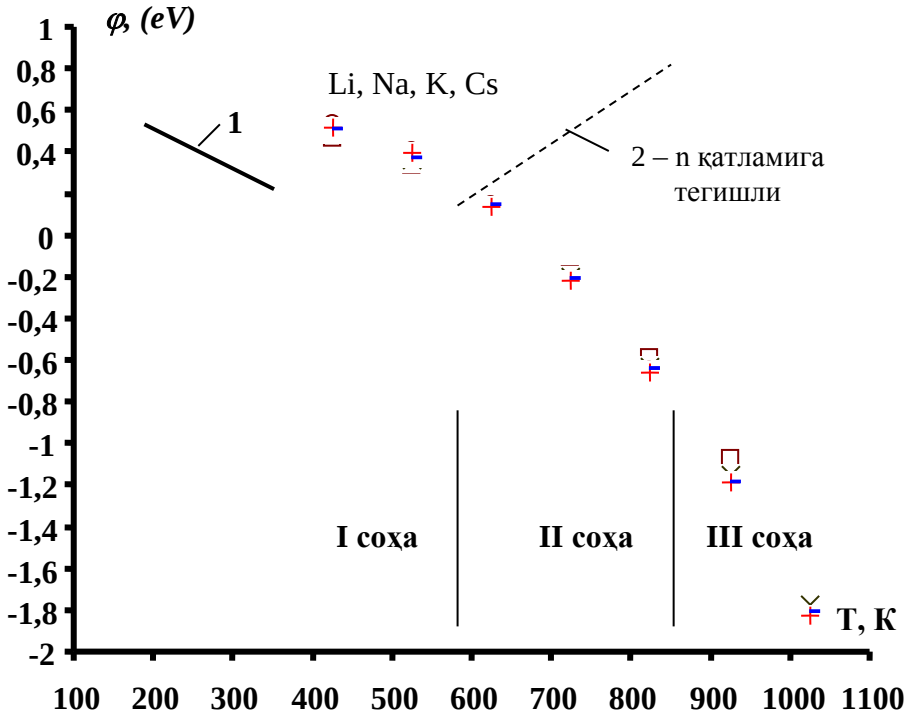
Маълумки, потенциал тўсиқ баландлиги легирланиш даражаси ва тузоқлар концентрациясига боғлиқ [6,7]. Тузоқларнинг тўлиши ва киришмаларнинг ионланиши натижасида икки туташган донадорлик сирт юзаларида зарядлар икки қатламли ҳолатининг пайдо бўлиши потенциал тўсиқ баландлигининг ўзгаришига олиб келади. Киришмалар концентрациясининг ортиши билан қатлам кенглиги ортади. Бундай боғлиқлик 1-расмда келтирилган, яъни легирланган киришмалар концентрациясининг ортиши (N_G) потенциал тўсиқ баландлигининг ортишига олиб келади. [7] ишда, $N_G \le 10^{14}(sm^{-3})$ бўлганда, поликристалл Si потенциал тўсиқ баландлиги $\varphi = 0{,}55(ev)$ бўлиши аниқланган. Бизнинг ҳолатда потенциал тўсиқ баландлигининг ўзгариши [7] ишда олинган натижалар билан мос келади.



1 – расм. Потенциал тўсиқ баландлигининг ишқорий металл атомлари концентрациясига боғлиқлиги.

Донадорликларнинг икки қатламли туташиш модели ва заряд ташувчиларнинг иссиқлик таъсирида ўзгариши донадорлик чегараларининг хоссаларини тушунтириш имконини беради [7]. Яъни потенциал тўсиқ баландлиги ҳарорат ўзгаришига ўта сезгир. Ҳарорат ортиши билан поликристалл кремний донадорлик чегараларидаги потенциал тўсиқ баландлиги 2-расмда келтирилгандай (1) чизиқли ўзгаради. Тузоқларнинг тўлиши ёки икки қатлам кенглигидаги рекомбинация марказларининг бартараф бўлиши потенциал тўсиқ баландлигининг камайишига олиб келади [7]. Бу соҳада умумий заряд ўзгармайди. Бизнинг ҳолатда потенциал тўсиқ баландлигининг чизиқли ўзгариши (I соҳа, ≤600 К) [7] ишда олинган натижалар билан мос келади. Бироқ ҳарорат ортиб бориши билан (II ва III соҳалар ≥600 К) потенциал тўсиқ баландлиги ишорасининг ўзгариши аниқланди.

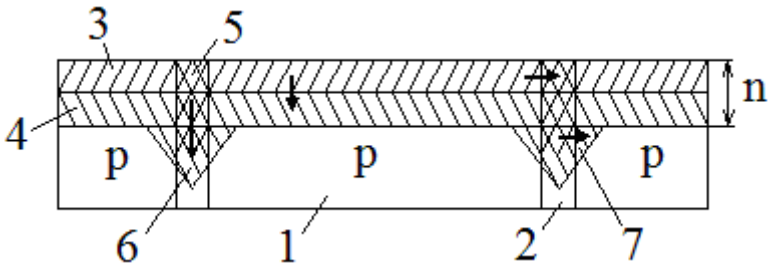
Маълумки, ишқорий металл атомлари кремнийда донор сатҳларни ҳосил қилади. Ишқорий металл атомлари киритилган намуналарга 700÷800 К да термик ишлов берилиши кремний асосида p-n ўтишли структурлар олиш имконини беради [1, 8]. Бизнинг ҳолатда ҳам ≥600 К да термик ишлов берилиши поликристалл кремний сирт юзаси ўтказувчанлигининг коваклидан электронли ҳолатга ўзгариши аниқланди. Потенциал тўсиқ баландлигининг ўзгариши p-n ўтишли структурларнинг ҳосил бўлишига боғлиқ бўлиши мумкин.



2-расм. Поликристалл кремний учун донадорлик чегараларидаги потенциал тўсиқ баландлигининг ҳароратга боғлиқлиги. 1 – [7] ишга тегишли.

3-расмда поликристалл кремний намунанинг соддалаштирилган схемаси тасвирланган. Соддалаштирилган схемага асосан донадорликлар шартли равишда тўртбурчак шаклида (P ёки 1-соҳалар) келтирилган бўлиб, улар 2-соҳа, донадорлик чегаралари билан ажратилган. Ишқорий металл атомлари киритилиши натижасида намуналарнинг сирт юзасида ишқорий металл атомларига бой бўлган (3-соҳа) қатлам ҳосил бўлади. Термик ишлов беришнинг дастлабки босқичида (I соҳа 2-расм) ишқорий металл атомлари донадорлик ва донадорлик чегараларидаги турли нуқсонлар, жумладан, кислородлар билан Li_x–O_y, Na_x-O_y ва K_x-O_y ёки ваканциялар билан Li_x-V_y, Na_x-V_y ва K_x-V_y бирикиб, рекомбинация марказлари бартараф бўлади [9, 10]. Бу жараёнда донадорлик чегараларидаги ҳолат зичлиги ва зарядларнинг чиқиш иши камайяди. Бу потенциал тўсиқ баландлигининг камайишига олиб келади.

Ҳарорат ортишининг кейинги босқичида (700÷800 К, II соҳа 2-расм) ишқорий металл атомлари кристалл ҳажмига диффузияланади. Натижада 4- ва 6-соҳалар ҳосил бўлади. Диффузия жараёнида моноқатлам қалинлиги ортади ва унинг ўтказувчанлиги электронли ўтказувчанликка ўзгаради. Бу поликристалл кремний асосида p–n структура ҳосил бўлишига олиб келади [1]. 2-расмда кўрсатилган II ва III соҳалар p–n структуранинг n қатламига тегишли бўлиб қолади (2-узук чизиқ). Яъни потенциал тўсиқ баландлиги камаймайди, балки ортади. Бу ҳарорат оралиқларида ишқорий металл атомларининг кўчиши нафақат кристалл ҳажми томонга, балки 3- ва 4-соҳалардан донадорлик чегаралари томон ҳам юз бериши мумкин. Бу жараёнда донадорлик чегараларида ишқорий металл атомлари дессорбцияланиб, ишқорий металл атомларига бой (5-соҳа) қатламнинг ҳосил бўлишига олиб келади. Бу ҳолатда донадорлик чегараларидаги ишқорий металл атомлари диполларининг ўзаро таъсир кучи ортади, ишқорий металл атомлари дессорбцияланган қатламида зарядларнинг чиқиш ишининг ортиши потенциал тўсиқ баландлигининг ортишига олиб келади (2-узук чизиқ).



3-расм. Поликристалл структурали намуналарнинг соддалаштирилган схемаси:
1 – p-тип Si донадорлиги; 2 – донадорлик чегара соҳаси; 3 – ишқорий металл атомлари киритилган қатлам; 4 – донадорлик бўйлаб ишқорий металл атомлари диффузияланган қатлам; 5 – донадорлик чегара соҳаларида ишқорий металл атомлари дессорбцияланган қатлам; 6 – ишқорий металл атомларининг донадорлик чегаралари бўйлаб диффузияланиши; 7 – ишқорий металл атомлари адсорбцияланган қатлам.

Потенциал тўсиқ баландлиги ўзгаришининг III соҳаси ишқорий металл атомларининг донадорлик чегаралари бўйлаб диффузияланишига боғлиқ бўлиши мумкин. Термик ишлов бериш ҳарорати ортиб бориши билан ишқорий металл атомлари поликристал кремнийнинг ост қисмигача диффузияланади. Донадорлик чегаралари бўйлаб диффузияланган ишқорий металл атомлари донадорлик сиртида адсорбцияланган (7-соҳа) қатламни ҳосил қилади. Донадорлик чегаралари бўйлаб диффузияланаётган ишқорий металл атомлари концентрациясининг ортиши адсорбцияланган қатламнинг ҳосил бўлишига олиб келади [4]. Ишқорий металл атомлари миқдорининг ортиши адсорбцияланган қатламнинг металлашувига олиб келиши олдинги ишларимизда аниқланган. Икки туташган донадорлик ўртасида ишқорий металл атомлари миқдорининг (N_G) ортиши донадорлик ўлчамининг ортишига, иккитуташган донадорлик *(W)* кенглигининг ортиши эса потенциал тўсиқ баландлигининг ортишига олиб келади. Бу ҳолатда ҳам асосий заряд ташувчилар электронлардан иборат бўлади.

Хулоса қилиб айтганда, киритилган киришма атомлари концентрациясининг ортиши ва диффузия жараёнида ишқорий металл атомларининг донадорлик чегараларида дессорбцияланиши потенциал тўсиқ баландлигининг ортишига олиб келади. Олинган натижалар поликристалл яримўтказгичлар асосида p-n структурлар олишда ҳамда донадорлик чегараларининг электрон хоссаларини тушунтиришда муҳим аҳамитга эга бўлиши мумкин.

АДАБИЁТЛАР:

1. Л.О.Олимов Автореф. канд. дисс.- Андижан, 1999
2. А.В. Заставной, В.М. Король. ФТП, 23 (2), 369 (1989).
3. С.Ю. Давыдов, А.В. Павлык. ФТП, 74 (8), 95 (2004).
4. Л.О. Олимов. ФТП, 44 (5) 628 (2010).
5. Б.М. Абдурахманов, Т.Х. Ачилов, А.Л. Кадыров, и др. Гелиотехника. № 4. 8 (1992).
6. Поликристаллические полупроводники. Физические свойства и применения: пер. с англ. под. ред. Г. Харбек.- М.: Мир, 1989
7. Тонкие поликристаллические и аморфные плёнки. Физика и применения: пер. с англ. под. ред. Л. Казмерски.- М.: Мир, 1983
8. В.П. Чирва, Ш.А. Абляев. ВИНИТИ, Ташкент (1968).
9. E.M. Rell. Sol. St. Phys. Electron. Telecom. v.1, 261. - N.Y., 1960
10. L. Canham, G. Devies, E.C. Lightowlers, G.W. Blackmore. Physica B, 117–118, 119 (1983).

Андижон давлат университети
2010 йил 2 февралда қабул қилинган
(Тақризчи: проф. И.Н.Каримов)