# ПОЛИКРИСТАЛЛ КРЕМНИЙ ДОНАДОРЛИКЛАРАРО ЧЕГАРАЛАРИДА ЗАРЯД КЎЧИШ ЖАРАЁНЛАРИ ҲАҚИДА

**А.ТЕШАБОЕВ, Б.М.АБДУРАҲМАНОВ, Л.О.ОЛИМОВ, М.МЎЙДИНОВА, Н.М.НОСИРОВА**

*В работе обсуждается процесс переноса носителей заряда межзеренных границ в поликристаллическом кремнии.*

*The article discusses the peculiarities of the process of charging transportation of the grain between boundaries of the polycrystallic silicon.*

---

Петриц поликристалл яримўтказгичларда заряд кўчиш жараёни бўйича қуйидаги мулоҳазаларни билдирган [1]. Поликристалл яримўтказгичлар тузилиш жиҳатидан мураккаб геометрик шаклдаги донадорлик ва донадорликлараро чегараларидан иборат. Донадорликлараро чегарада локаллашган тузоқлар заряд ташувчилар учун тўсиқ эффектини ҳосил қилади. Бунга кўра, поликристалл яримўтказгичларнинг умумий солиштирма қаршилиги донадорлик ( $\rho_1$ ) ва донадорликлараро чегараларининг солиштирма қаршиликлари ( $\rho_2$ ) орқали аниқланади [2]. Поликристалл яримўтказгичларнинг умумий қаршилиги учун қуйидаги ифодани ёзишимиз мумкин:

$$\rho = \rho_1 + \rho_2 \quad (1)$$

$\rho_2 > \rho_1$ бўлганда, донадорликлараро чегаранинг вольт-ампер характеристика (ВАХ)си учун қуйидаги ифодалар ўринлидир:

$$J = Mn_1 \exp(-q\varphi/kT)\left[\exp(-eV_B/kT)-1\right] \quad (2)$$

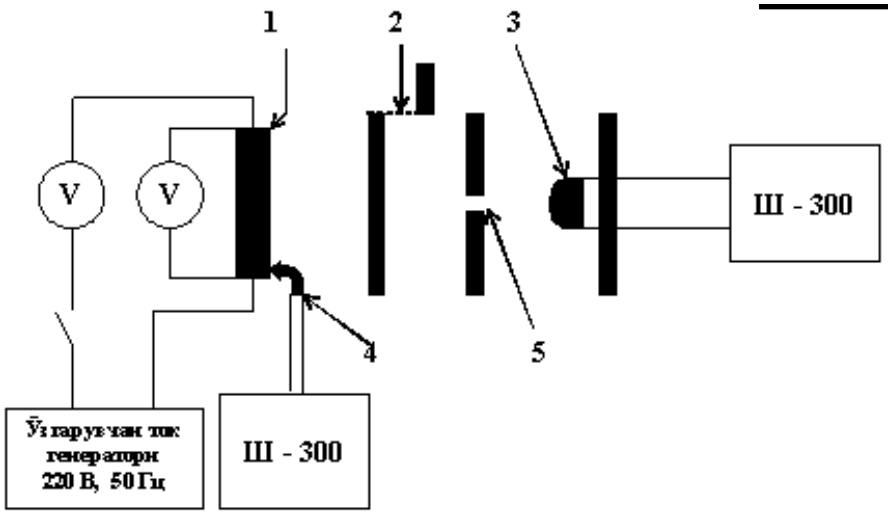
ёки

$$J = \left[q\mu_o \exp(-qV_B/kT)\right]\xi \quad (3)$$

бу ерда, $J$ – ток зичлиги; $n_1$ – донадорликдаги асосий заряд ташувчиларнинг ўртача концентрацияси; $\varphi$ – потенциал тўсиқ баландлиги; $V_B$ – тўсиқда кучланишнинг тушиши; $M$ – потенциал тўсиқ баландлигига боғлиқ бўлмаган, тўсиқнинг табиатига боғлиқ бўлган коэффициент; $k$ – Больцман доимийси; $T$ – температура; $q$ – электрон заряди; $\mu_o = M/n_c kT)$; $\xi = V_B/L$ ( $L$ – намуна узунлиги).

ВАХ усули ёрдамида заряд кўчиш жараёнини ўрганиш бўйича дастлабки тадқиқотлар Тейлор, Одела, Фана, Зигер, Пайк, кейинчалик Гольдман [1, 2] томонидан олиб борилган. Тадқиқот натижаларига кўра, ток ва кучланишнинг номутаносиб боғлиқликда ўзгариши валент зонадан 0,65 эВ юқори энергетик сатҳларда донадорликлараро чегарадаги ҳолат зичлигининг бирданига камайиши орқали тушунтирилган (2-расм). Ток ва кучланишнинг бундай хусусияти бизнинг дастлабки ишларимизда ҳам аниқланган [3]. Кейинги йилларда донадорлик чегараларига боғлиқ киришмали иссиқлик волтаик ва фотоволтаик эффектларнинг кашф этилиши [4, 5], заряд кўчиш жараёнларини синчиклаб-қайта ўрганиш зарурияти туғдиради. Буларга боғлиқ ҳолда янги эффектларнинг намоён бўлиш жараёнларини, донадорликлараро чегарадаги заряд кўчишига таъсирини ўрганиш долзарб муаммолардан бири ҳисобланади. Мазкур ишда донадорликлараро чегараларида заряд кўчиш жараёнлари, уларнинг поликристалл кремнийнинг электрофизик хоссаларига таъсирини ўрганишда олинган натижалар таҳлил қилинади.

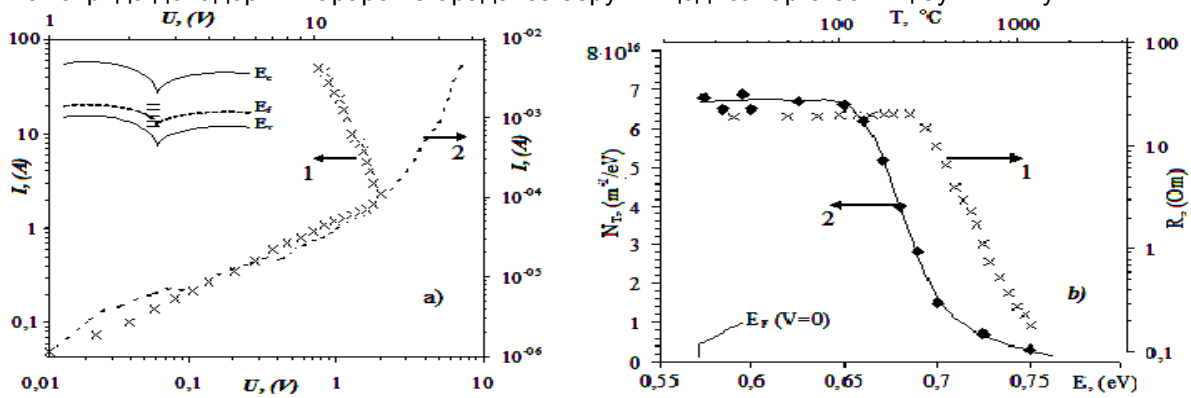
Тадқиқотлар олиб бориш учун солиштирма қаршиликлари *ρ~1 Ом·см,* ўртача донадорлик ўлчами *~200÷250 мкм* бўлган р-типли поликристалл кремний намуналари танлаб олинди [3]. Намуналар ўлчами *100×10×3 мм* ни ташкил қилади. 1 – расмда ВАХ усули ёрдамида поликристалл кремний донадорликлараро чегараларида заряд кўчиш жараёнини ўрганиш қурилмасининг электрик схемаси келтирилган. Манба сифатида ўзгарувчан ток генераторидан фойдаланилди. Намунадан ўтувчи ток 0,5÷25 А оралиғида. Намунанинг температураси хромел-альюмел термопара ёрдамида назорат қилиб борилди. Контакт сифатида алюминийдан фойдаланилди. Контактлар 900°С гача ҳеч қандай қўшимча ҳимоя талаб қилмайди.




**1 – расм.** *Поликристалл кремний донадорликлараро чегараларида заряд кўчиш жараёнини ВАХ усули ёрдамида ўрганиш қурилмасининг электрик схемаси. 1 – поликристалл кремний намунаси, 2 – намунадан чиқувчи инфрақизил нурларни беркитувчи шторка, 3 – ТЭМ-5 русумли фотодатчик, 4 – термопара, 5 – филтирлар учун туйнук.*

2 а) – расмда намунадан ўтган ток ва кучланишнинг боғлиқлик ВАХ си ҳамда b) – расмда намуна қаршилигининг температурага боғлиқлиги тасвирланган (1-чизиқ). Тадқиқот натижаларидан кўринадики, токнинг кучланишга боғлиқлиги юқоридаги муаллифларнинг натижаларидан фарқ қилиб, S симон шаклдалиги аниқланди. Токнинг ≤1,5÷2 А қийматигача кучланиш билан тўғри чизиқли мутаносиблиги мос келса, ≥1,5÷2 А да токнинг бирданига ортиши ва кучланишнинг камайиши фарқ қилади.

Зигер ва Пайк ишларида ток ва кучланишнинг боғлиқлиги донадорликлараро чегарадаги тузоқларнинг тўлиши ва сиртдаги ҳолат зичликларининг таъсири орқали тушунтирилган (2 а – расм, 2-чизиқ). Юклама таъсирида донадорликлараро чегарадаги локаллашган тузоқларда заряд ташувчилар ушланади ва бу ҳолат Ферми $E_f$ энергетик сатҳи тузоқлар ҳолат зичликлари энергиясига тенглашгунга қадар давом этади (2 а) – расм, донадорликлараро чегара зона диаграммаси). Тузоқларнинг тўлиши билан ҳолат зичлигининг камайиши токнинг бирданига ортишига олиб келади. Бу ҳолатда валент зонадан 0,65 эВ юқори энергетик сатҳда ҳолат зичлиги бирданига камайяди (2 б – расм, 2-чизиқ) [1, 2]. Токнинг ортиш сабабларидан яна бири сифатида намунанинг қизиши ва жадал ионланиш бўлишининг мумкинлиги эътироф этилган [1,2]. Келтирилган мулоҳазалар бизнинг ҳолат учун ҳам ўринлидир. Бироқ, ток ортиши билан кучланишнинг камайиши нафақат ҳолат зичлиги камайишига, балки, бир вақтнинг ўзида иссиқлик энергияси ҳамда ўзгарувчан токнинг электр майдони таъсирида донадорликлараро чегарада юз берувчи ҳодисаларга боғлиқ бўлиши мумкин.




**2 - расм.** *а) - кремнийнинг зарядланган донадорликлараро чегарасининг ВАХси ва зона диаграммаси; b) - ҳолат зичлигининг энергияга, қаршиликнинг температурага боғлиқлиги. 2 – [1, 2] га тегишли.*

Маълумки, намунадан ток ўтганда унинг қизиши кузатилади. Бизнинг ҳолатда ток ва кучланиш боғлиқлигининг дастлабки ҳолатида намуна температураси 300°С гача қизиши аниқланди. Кучланишнинг камайиши ва токнинг бирднига ортиши ҳолатида намуна марказидаги температура 1200°С гача қизиши,

шунингдек, ≥300°С бўлган ҳолатда поликристалл кремний қаршилигининг камайиши (2 b) – расм) кузатилди. Бу ҳолатни қуйидагича тушунтириш мумкин.

Локаллашган тузоқларни ҳосил қилган рекомбинация марказлари донадорликлараро чегарадаги киришма атомларининг хоссаларига ва температура ўзгариши натижасида юз берувчи кимёвий жараёнларга боғлиқ. Поликристалл яримўтказгичдан ток ўтганда, намуна қизийди. Бунда жоул иссиқлиги, асосан, донадорликлараро чегарадаги аморф қатламда ажралади ва бу қатламнинг эриши кузатилади. Температура 600 °С гача ўзгарганда, бўш боғланган киришмалар газ ҳолатда Si сиртига ажралиб чиқади [6]. Поликристалл кремнийда газ ҳолатдаги бирикмалар нафақат сирт томон, балки икки туташган донадорликлараро чегарадаги микробўшлиқ томонга ҳам чиқиши мумкин [7]. Бизнинг фикримизча, температура ортиши жараёнида донадорликлараро чегарадаги киришмавий ҳолатларда электрон-ковак жуфтликлари ҳосил бўлади [5]. Бу ҳолда заряд ташувчилар концентрацияси ва токнинг ортишига олиб келади, намуна қаршилиги билан кучланиш камаяди.

Хулоса қилиб айтганда, поликристалл кремнийнинг электрофизик хоссалари донадорликлараро чегарадаги локаллашган тузоқларда заряд ташувчиларнинг ушланиши ёки озод бўлишига боғлиқ бўлиб, тузоқларда зарядларнинг ушланиши ўтказувчанликнинг камайишига, иссиқлик ҳодисаси ҳисобига зарядларнинг озод бўлиши ҳамда киришмаларда зарядларнинг генерацияси ўтказувчанликнинг ортишига олиб келади. Олинган натижалар, донадорликлараро чегарадаги заряд кўчиш жараёнларини, киришмавий иссиқлик вольтаик эффектларни тушунтиришда муҳим аҳамият касб этиши мумкин.

**Адабиётлар:**

1. Поликристаллические полупроводники. Физические свойства и применения: Пер. с англ. / Под.ред. Харбек Г. – М.: Мир, 1989. - 344 с., ил.

2. Тонкие поликристаллические и аморфные плёнки: Физика и применения. Пер. с англ. / Под ред. Л.Казмерски. – М.: Мир, 1983. -304 с., ил.

3. Олимов Л.О. Автореф. канд. дисс. г. Андижан, Андижанский Государственный университет, 1999

4. Abdurakhmanov B.M., Olimov L.O. and Saidov M. S. Electrophysical Properties of Solar Polycrystalline Silicon and Its $n^+$-p Structures at Elevated Temperatures. // Applied Solar Energy ISSN 0003-701X. 2008, vol. 44. №1, p.46÷52.

5. Olimov L.O. Model of the Grain Boundary in p-n Structures Based on Polycrystalline Semiconductors. // Applied Solar Energy ISSN 0003-701X. 2010, vol. 46. №2, p.118÷121.

6. Романова Г.Ф., Степко И.И. «Газовыделение с поверхности кремния». Поверхностные свойства полупроводников. Изд. АН СССР.- Москва.- 1962.- С.85-92,

7. Абдурахманов Б.М., Олимов Л.О., Абдураззақов Ф.С. Микроструктура межзеренных границ в поликристаллическом кремнии и её влияние на перенос носителей заряда. Физическая инженерия поверхности.- 2010.- т.8, №.1.- С.72-76.

*Андижон давлат университети,*
*ЎзР ФА Электроника институти.*
*2011 йил 14 ноябрда қабул қилинган*