ГРАНУЛЛАШГАН ЯРИМЎТКАЗГИЧЛАР ТУЗИЛИШИ ВА ЭЛЕКТРЎТКАЗУВЧАНЛИГИ

З.М.Сохибова, Л.О.Олимов, Р.У.Алиев, Ф.Л.Омонбоев, М.Л.Омонбоева

Грануллашган кремний тузилиши ва унинг электр ўтказувчанлигини аниқлаш юзасидан олинган экспериментал натижалар муҳокама қилинган. Натижалар кўрсатадики, ультрадисперс кремний кукунларнинг ўлчами 400÷700 нанометр бўлиб, унинг сирти турли ғадир-будирликлардан иборат. Унинг электрўтказувчанлиги гранулалар ўлчамига боғлиқ равишда экспоненциал камайиб боради.

***Калит сўзлар**: электрўтказувчанлик, гранула, грануллашган кремний, киришмали ҳолат, ультрадисперц кукун, микрофотография.*

Обсуждены экспериментальные результаты, полученные при исследовании структурного строения и электропроводности гранулированного кремния. Результаты показали, что размер ультрадисперсного кремния составляет 400-700 нанометров, а его поверхность представляет шероховатую структуру. Электропроводность экспоненциально уменьшается в зависимости от размеров гранул.

***Ключевые слова:** электропроводность, гранула, гранулированный кремний, примесное состояние, ультрадисперсный порошок, микрофотография.*

The experimental results obtained in studying the structure and its electrical conductivity of granular silicon are discussed. The results of the study showed that the size of ultra-disperse silicon is from 400 to 700 nanometers, and its surface presents rough structures.Its electrical conductivity decreases exponentially in accordance with the sizes of the granules.

***Key words:** electrical conductivity, granule, granular silicon, impurity state, ultra-dispersepowder, micrograph.*

Жаҳонда ярим ўтказгичлар физикасининг амалий қўлланилиши соҳасидаги интенсив ривожланишида грануллашган яримўтказгичли материаллар муҳим ўрин эгаллайди [1-6]. Бундай турдаги яримўтказгичларнинг функционал ва физик хусусиятлари микро- ва наноўлчамли яримўтказгичлар асосидаги яримўтказгичли асбоблар, қуёш элементлари, термоэлементлар ҳамда интеграл микросхемалар яратиш имкониятларини оширади [1, 4, 7]. Кейинги йилларда грануллашган яримўтказгичларнинг муайян шароитларда намоён бўлувчи физик хусусиятлари, хусусан, уларда киришмали иссиқлик волтаик эффектларнинг намоён бўлиш механизмлари кенг ўрганила бошланди [1, 2].

Адабиётларда бу эффектларнинг намоён бўлиши грануллашган яримўтказгич ҳажми ва сиртидаги киришмали ҳолат ёки нуқсонларга, температуралар фарқига боғлиқлиги эътироф этилган. Бироқ бугунги кунда грануллашган яримўтказгичларда электрон-ковак жуфтликларининг ҳосил бўлиши, заряд кўчиш механизмлари тўла ҳал қилинмаган муаммолардандир. Электрон-ковак жуфтликларининг ҳосил бўлиши гранула ҳажмида юз берадими, ёки унинг сиртида, яъни гранулаларнинг икки туташган контакт соҳасидами? Шунингдек, заряд кўчиш жараёни қайси соҳада амалга ошади? Бундай физик жараёнларни ўрганиш муҳим илмий-техник муаммолардан ҳисобланади. Ушбу мақолада грануллашган кремнийнинг тузилиши ва унда заряд кўчиш жараёнларини ўрганиш давомида олинган экспериментал натижалар муҳокама қилинади.

Кремний гранулалари олиш учун кукунли технологиядан [5, 6], унинг хом ашёси сифатида қуёш элементлари ишлаб чиқариш саноати учун мўлжалланган монокристалл кремнийдан фойдаланилди. Грануллашган кремний микроструктураси электрон микроскоп, электрофизик хоссалари эса анъанавий икки зондли усул ёрдамида ўрганилди [7]. Дастлабки тадқиқот натижалари ультрадисперс яримўтказгич кукунларининг ўлчами 400÷700 нанометр бўлиб, уларнинг сирти турли ғадир-будирликлардан иборатлигини кўрсатди. Бу ҳолатни қуйидагича тушунтириш мумкин.

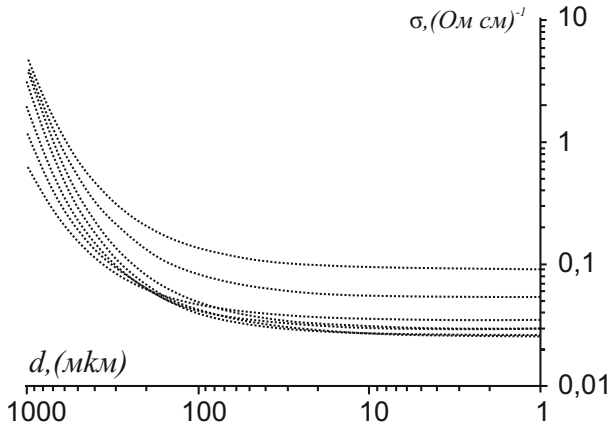
Кукунлаш вақтида кукунларнинг қизиш жараёни кукун кристали ҳажми бўйлаб бир хил юз бермайди, натижада кристалл ҳажми бўйлаб температуралар фарқи вужудга келади. Температуралар фарқига мос ҳолда кукун тузилишини 3 қисмга бўлишимиз мумкин. Температураси нисбатан юқори бўлган сиртидаги игна толали нотекисликлар соҳаси ҳамда уни кукун ядросидан ажратиб турувчи оралиқ соҳалардан иборат. Механик таъсир жараёнида бу соҳаларнинг атомар тузилиши бир-биридан тубдан фарқ қилиши унинг сиртида турли нотекисликларнинг ҳосил бўлишига олиб келади. Шунингдек, бу соҳаларнинг атомар тузилишига мос ҳолда, ҳар бир соҳанинг электрик, оптик ва бошқа хоссалари бир-биридан тубдан фарқ қилиши мумкин.

1-расмда грануллашган кремний электрўтказувчанлиги (σ)нинг гранулалар ўртача ўлчами ва температурага боғлиқлик графиги келтирилган. 1-расмдан кўринадики, грануллашган кремний электрўтказувчанлигининг ўртача ўлчамга боғлиқлиги экспоненциал қонуниятга бўйсунади.

Поликристал яримўтказгичлар физикасидан маълумки, икки туташган донадорликлараро чегара соҳасидаги киришмали ҳолат ва нуқсонлар заряд ташувчилар учун локаллашган тузоқларни ҳосил қилади [7]. Бу тузоқлар донадорликлараро чегара соҳаларида тўсиқ эффектини ҳосил қилади. Локаллашган тузоқларда заряд ташувчилар ушланиши ва қайта озод бўлиши потенциал тўсиқ баландлиги (φ)нинг, бу эса, ўз навбатида, σ нинг ўзгаришига олиб келади. Сетто моделига асосан, σ учун қуйидаги ифодани ёзиш мумкин [9]:

$$\sigma = \frac{qaA^{*}T}{k}\exp\left(-\mathrm{q}\varphi\big/\mathrm{kT}\right) \quad (1)$$

бу ерда, q – электрон заряди, k – Больцман доимийси, $\langle a \rangle$ – донадорлик ўлчами, A^* – Ричардсоннинг эффективлик доимийси, T – температура, φ – донадорликлараро чегара соҳадаги потенциал тўсиқ баландлиги.



1-расм. *Грануллашган кремний электрўтказувчанлигининг гранулалар ўртача ўлчамига боғлиқлиги*

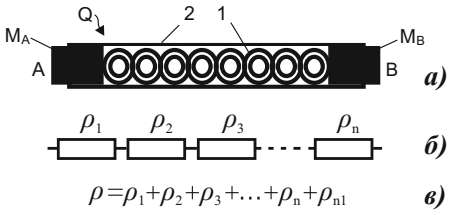
Потенциал тўсиқ баландлиги (φ) локаллашган тузоқларда ушланаётган зарядлар миқдори (Q_i)га боғлиқ:

$$\varphi = \frac{Q_i^2}{8\varepsilon\varepsilon_o q N_G} \quad (2)$$

бу ерда N_G – электрик жиҳатдан фаол бўлган легирланган киришмалар концентрацияси, e ва e_o мос ҳолда муҳитнинг нисбий ва вакуумнинг абсолют диэлектрик сингдирувчанлиги.

(2) ифодадан кўринадики, Q_i нинг ортиши j нинг ортишига, бу эса, ўз навбатида, σ нинг камайишига олиб келади. Гранулалар кетма-кет жойлашган бўлиб, улар ўртасида туташган соҳалар пайдо бўлади (2-расм а). Гранулалар ўлчами кичрайиб бориши билан уларга мос ҳолда кетма-кет жойлашган қаршиликлар сони ҳам ортади. Умумий қаршилик кетма-кет жойлашган гранулалар қаршиликларининг йиғиндиси билан аниқланади (2 расм б ва 2-расм в). Бундай ҳолда икки туташган

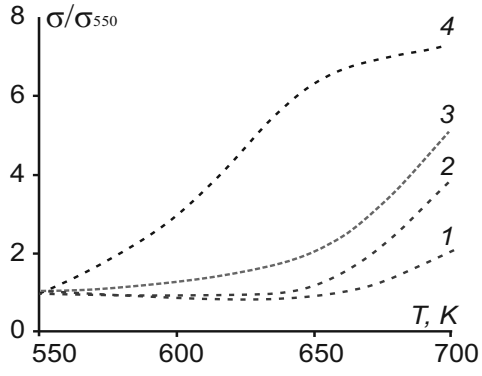
гранулалар чегара соҳаларидаги локаллашган тузоқларда ушланаётган (Q_i) зарядлар миқдори билан φ нинг ортиши гранулалар умумий электрўтказувчанлигининг камайишига олиб келади.



2-расм. *Тадқиқот методи ва унга мос ҳолда кукунлар жойлашувининг соддалаштирилган (а) ҳамда электрик (б) схемаси, (в) – солиштирма қаршилик формуласи. 1 – кукунли яримўтказгич, 2 – керамик трубка, M_A ва M_B мос ҳолда А ва В соҳадаги омик контактлар, Q – берилаётган иссиқлик миқдори*

Потенциал тўсиқ баландлиги (φ) киришмаларнинг нотекис тақсимоти ва температура ўзгариши натижасида юз берувчи кимёвий жараёнларга боғлиқ бўлиб, бу, ўз навбатида, электрўтказувчанликка ҳам сезиларли таъсир қилади. Шунга боғлиқ ҳолда ушбу ишда грануллашган кремний электрўтказувчанлигининг температурага боғлиқлиги ҳам ўрганилди. 3-расмда грануллашган кремний электрўтказувчанлигининг температурага боғлиқлиги тасвирланган. Графиклардан кўринадики, температура ўзгариши гранулашган кремний электрўтказувчанлигига сезиларли таъсир қилади. Ҳароратнинг T≤550 °C гача диапазонида электрўтказувчанлик барча турдаги гранулуларда бир текисда ортади. Сўнгра, ҳарорат T≥550 °C бўлган ҳолатда гранулалар ўлчами ортиб бориши билан (1 → 2 → 3 → 4) электрўтказувчанликнинг 10 баробаргача ортиши кузатилди.

Ушбу ишда грануллашган кремний электрўтказувчанлигининг (1) тенгламада ифодаланганидек температурага боғлиқлиги ҳам ўрганилди.



3-расм. *Грануллашган кремний электрўтказувчанлигининг температурага боғлиқлиги*

Шотки моделига асосан, φ ни қуйидагича ифодалаш мумкин:

$$\varphi = \frac{1}{2}\cdot\frac{4\pi q^2}{\varepsilon}\cdot\left(\frac{Q}{2}\right)^2\cdot\frac{1}{N_+} \quad (3)$$

бу ерда, Q – манфий заряд, $N+$ – зарядниг ҳолат зичлиги.

Температура ортиши билан гранулалар олиш жараёнида ҳосил бўлган бўш боғланган киришмалар газ ҳолатида Si сиртига ажралиб чиқади [9]. Улар нафақат сиртга, балки икки туташган соҳага ҳам ажралиб чиқиши мумкин. N_+ ажралиб чиққан газли бирикмалар босимига кучсиз боғланган, бироқ Q – ўта сезгир. Кристалл панжаранинг иссиқлик тебраниши нуқсонлар ёки вакансияларнинг ионланишига олиб келади. Бундай ҳолда $[T^+]=T\text{-}T_v\text{-}V^x$ кўринишдаги реакция юз бериши мумкин: бу ерда T – киришма, T_v – киришма-вакансия комплекси, V^x – кислородли вакансия.

Буларга боғлиқ ҳолда, Q ни қуйидагича ёзиш мумкин: $Q=[T^+]$. Буни (3) га қўйсак, φ учун қуйидаги ифодани ҳосил қиламиз:

$$\varphi = \frac{4\pi q^2\left[T^+\right]^2}{2\varepsilon N_+} \quad (4)$$

бу ерда T^+ – икки туташган соҳадаги ионлашган тузоқлар концентрацияси.

(4) ифодадан кўринадики, икки туташган соҳадаги ионлашган тузоқларнинг ортиши φ нинг ортишига олиб келади. Агар, (4) ифодани (1) га қўйсак ҳамда доимий катталиклар сифатида $A=k/(q\langle a\rangle A^*)$, $B=q/k$ ва $C=4\pi q^2/(2\varepsilon N_{эфф})$ белгилашлар киритсак, қуйидаги тенгламани ҳосил қиламиз:

$$\sigma \approx \left(\frac{T}{A}\right)\cdot\exp\left(-\frac{\mathrm{B}\cdot\mathrm{C}\cdot\left[T^+\right]^2}{T}\right) \quad (5)$$

(5) тенгламадан σ нинг ионлашган тузоқлар концентрациясига, яъни ионлашган тузоқларни ҳосил қилувчи газларнинг босимига боғлиқлигини ҳосил қиламиз. [9] ишда температура<800°C гача кўтарилганда, кислород босимининг ортиши, ZnO асосли варисторларда ρ нинг 5 мартагача ортишига сабаб бўлиши аниқланган. Бизнинг ҳолда, намунага Q иссиқлик берилганда, А ва В соҳалар ўртасида тепературалар фарқи пайдо бўлади (2а-расм). Температура ортиши билан А соҳада ҳосил бўлган электрон-ковак жуфтликлар В соҳага ҳаракатланади. Бунда заряд ташувчилар гранулаларнинг туташган соҳалари бўйлаб ҳаракатланади. Гранулаларнинг туташган соҳаларидаги тузоқларнинг ионланиш энергияси ёки уларни ҳосил қилувчи газлар босимининг ортиши σ нинг камайишига олиб келади.

Бундай жараён гранула ўлчами катта бўлганда кучсиз, аксинча, гранула ўлчами кичик бўлган ҳолатда кучли юз беради. Чунки гранулалар ўлчами кичрайиб бориши билан ўзаро икки туташган соҳани ҳосил қилувчи чегара соҳалар ҳам ортиб боради. Гранула ўлчамининг ортиб бориши билан (1 → 2 → 3 → 4) электрўтказувчанликнинг 10 баробаргача ортиши кузатилади.

Ҳулоса қилиб айтганда, олинган натижалар грануллашган яримўтказгичларнинг муайян шароитларда намоён бўлувчи физик хусусиятларини, жумладан, икки туташган соҳада юз берувчи физик жараёнларни тадқиқ этишда муҳим аҳамият касб этиши мумкин.

Адабиётлар:

1. Ашуров М.Х., Абдурахманов Б.М., Адилов М.М., Ашуров Х.Б. Изотипный преобразователь тепловой энергии на основе микрозернистого кремния. // ДАН РУз.- 2010.- № 3.- С. 45-49.

2. Абдурахманов Б.М., Адилов М.М., Ашуров М.Х., Ашуров Х.Б., Оксенгендлер Б.Л. Разработка и исследование кремниевых изотипных, одно и многопереходных тепловольтаических преобразователей энергии. Препринт ИЯФ АН РУзР-8-693.- Т., 2010.- С.36.

3. Сохибова З.М., Анарбоев И., Мамиров А., Олимов Л.О. Грануллашган яримўтказгич ўтказувчанлиги. // «Яримўтказгичлар физикасининг ва қайта тикланувчи энергия манбаларини ривожлантиришнинг замонавий муаммолари» мавзусидаги республики илмий-амалий анжумани материаллари (20-21- апрель).- Андижон, 2018.- Б.153-154

4. Сохибова З.М., Анарбоев И., Олимов Л.О., Омонбоев Ф.Л., Алиев Р.У. Ультрадисперц кукунли яримўтказгичларда киришмали иссиқлик вольтаик эффектлар // «Яримўтказгичлар физикасининг ва қайта тикланувчи энергия манбаларини ривожлантиришнинг замонавий муаммолари» мавзусидаги республики илмий-амалий анжумани материаллари (20-21- апрель).- Андижон, 2018.- Б.165-166

5. Сохибова З.М., Адилов М.М., Олимов Л.О. Влияние гранулометрических параметров порошка кремния на его электропроводность. // IPEC-7 Сборник тезисов докладов, 18-19 мая.- Т., 2018.- С.113.

6. Soxibova Z.M., Anarboyev I., Olimov L.O., Erkaboyeva S., Omonboyev F.L., Aliyev R.U. The impact of oxygen atoms to thermovoltaic features of ultradisperts of silicon. // Материалы IV международной конференции по оптическим и фотоэлектрическим явлениям в полупроводниковых микро- и наноструктурах. Часть-3. – Фергана, 2018.- С.262.

7. Олимов Л.О. Поликристалл кремний донадорликлараро чегаралари: микротузилмаси, заряд ҳолатлари ва p–n – ўтишлари». Докторлик диссертацияси автореферати.- Т., 2016

8. Зайнабидинов С.З., Абдурахманов Б.М., Алиев Р., Олимов Л.О., Мухтаров Э. Получение поликристаллических пластин из кремниевого порошка. // Гелиотехника.- 2005.- №3.- С.79-82

9. Поликристаллические полупроводники. Физические свойства и применение: Пер. С англ. / Под. ред. Харбек Г. – М.: Мир, 1989.- 344 с.

Андижон машинасозлик институти
Андижон давлат университети
2018 йил 27 августда қабул қилинган
(Тақризчи: проф. И.Каримов)