

## ZƏİF LEGİRƏ OLUNMUŞ n-Si ALTLIĞINDA FORMALAŞDIRILMIŞ MAKROMƏSAMƏLİ SİLİSIUMDA XÜSUSİ MÜQAVİMƏT VƏ HOLL EFFEKTI

H.Ə. HƏSƏNOV

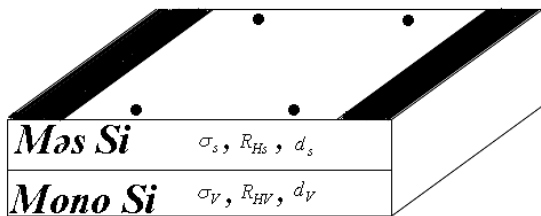
MTN-in H. Əliyev adına Akademiyası

Məqalə fosforla zəif legirə olunmuş n-Si altlığında formalaşdırılmış makroməsəmali silisiumda xüsusi müqavimət və Holl effektinin temperatur asılılıqlarının tədqiqinə həsr olunmuşdur. MS-in formalaşdırılması prosesində yaranan hidrogen atomları tərəfindən aşqar atomlarının passivləşdirilməsi prosesinin xarakteri təhlil edilmişdir. Məsəmə divarlarında yaranan yoxsullaşmış oblastların MS-in elektrik xassələrinə təsiri tədqiq edilmişdir.

Təqdim olunmuş işdə məqsəd-silisium altlıq/məsəmali silisium (MS) sistemində (silisium altlıq xüsusi müqaviməti  $4,5 \text{ Om}\cdot\text{sm}$  və konsentrasiyası  $n=10^{15} \text{ sm}^{-3}$  olan (100) orientasiyalı fosforla legirə olunmuşdur) xüsusi müqavimət və Holl effektinin tədqiq olunmasıdır. MS təbəqələri plavik turşusunun 48%-li məhlulunda  $10 \frac{\text{mA}}{\text{sm}^2}$  cərəyan sıxlığında alın-

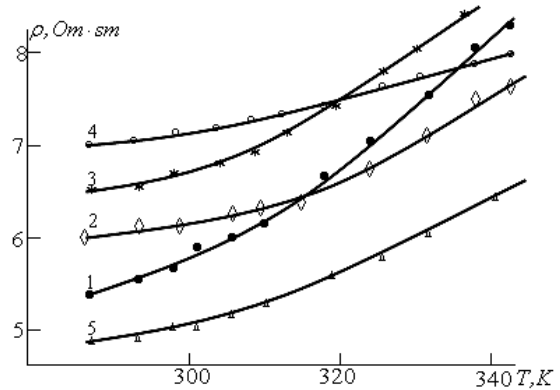
mışdır. Anodlaşma müddətinin 10 dəqiqədən 60 dəqiqəyə qədər dəyişməsi MS təbəqənin qalınlığını 25mkm-dən 100mkm-ya qədər, çəki məsəmäliliyini isə 5%-dən 10%-ə qədər artırır. Rastr elektron və akustik mikroskopların köməyiylə aparılan tədqiqatlar göstərir ki, MS strukturun səthi (100) oxuna paralel yönələn, bir-birindən 3÷10 mkm məsafədə yerləşən, diametri 1,5 mkm olan iri silindrik məsəmələrlə xarakterizə olunur. MS səthindəki amorf təbəqə yüksək tezlikli boşalmanın karbonflüor-oksigen plazmasında plazma-kimyəvi aşılama metodu vasitəsilə ləğv edilmişdir. Tədqiq olunan nümunələrin xarici görkəmi 1 saylı şəkillərdə təsvirə uyğundur. Al/MS kontaktındakı omikliyin tədqiqi göstərdi ki, kiçik sürüşmələr oblastında kontakt kvaziomikdir və keçid xüsusi müqaviməti  $0,2\div 12 \text{ Om}\cdot\text{sm}^2$ -na bərabərdir.

2 və 3 saylı şəkillərdə iki təbəqəli MS/ silisium altlıq strukturu üçün xüsusi müqavimət və Holl əmsalının temperatur asılılıqları göstərilmişdir. 2 saylı şəkildən görünür ki, otaq temperaturları oblastında anod emalı müddətinin artması iki təbəqəli strukturun xüsusi müqavimətini artırır. Temperatur artdıqca ikitəbəqəli strukturun xüsusi müqaviməti əvvəlki kimi ilkin monosilisiumun xüsusi müqavimətindən çox olsa da, onun temperatur asılılığının xarakteri bir qədər dəyişir. Holl əmsalı ilkin monosilisiumun Holl əmsalından böyük olur və otaq temperaturunda  $(6,9\div 7,9)\cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{Kl}$ -a bərabər olur.

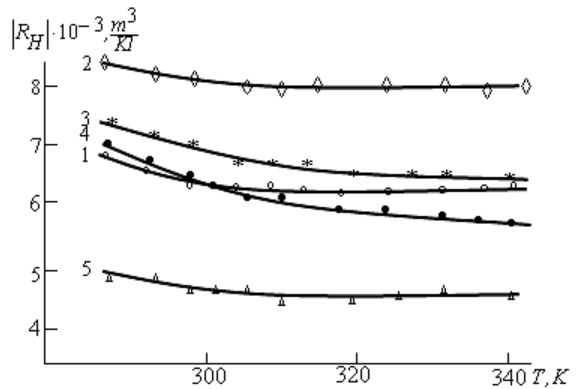


Şəkil 1. Holl effektinin ölçülməsi üçün ikitəbəqəli məsəmali Si/Si strukturu

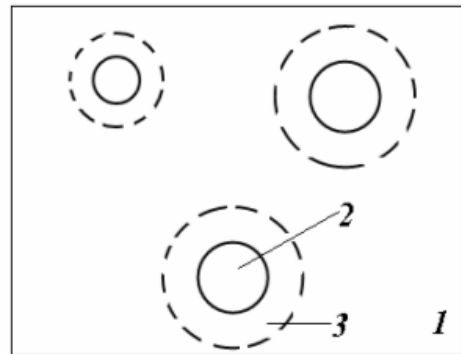
Alınmış eksperimental nəticələri təhlil etmək üçün Petris modelindən istifadə olunmuşdur. Bu model MS həcmimin orta qiymətinə görə  $P_{MS}$  xüsusi müqaviməti və  $R_{HMS}$  Holl əmsalını təyin etməyə imkan verir.



Şəkil 2. İlkin silisium (5) və ikitəbəqəli strukturların (1-4) müxtəlif anodlaşma müddətlərində xüsusi müqavimətlərinin temperatur asılılıqları.  $t_a$ -1÷20; 2÷30; 3÷40; 4÷60;



Şəkil 3. İlkin silisium (5) və ikitəbəqəli strukturların (1-4) Holl əmsallarının temperatur asılılıqları. Nümunələrin nömrələri 2 saylı şəkildəki nömrələrə uyğundur.



Şəkil 4. Məsəmələr ətrafındakı yoxsullaşmış oblastlar. 1- monokristallik matris, 2- məsəmə, 3- yoxsullaşmış oblast.

Hesablamalar zamanı ilkin silisium partiyasının xüsusi müqavimətinin 15%-lik kənara çıxmaları nəzərə alınmışdır. Hesablamaların 1 sayılı cədvəldə göstərilən nəticələri sübut edir ki, MS təbəqəsinin orta xüsusi müqaviməti monosilisiumun müqavimətindən 1,5÷15 dəfə böyükdür.

Cədvəl 1

Petrisin ikitəbəqəli modelinə əsasən aparılan hesablamaların nəticələri

| Nümunənin nömrəsi | $t_{\infty}$ dəq. | $d_{MS}$ mkm | $P_{MS}$ , Om-sm | $R_{HMS}$ , m <sup>3</sup> /Kl |
|-------------------|-------------------|--------------|------------------|--------------------------------|
| 1                 | 20                | 48           | 7,2÷9,5          | -(0,03÷0,04)                   |
| 2                 | 30                | 56           | 12,4÷24,2        | -(0,23÷0,28)                   |
| 3                 | 40                | 67           | 27,2÷62,6        | -(0,69÷0,72)                   |
| 4                 | 60                | 100          | 26,6÷69          | -(0,40÷0,48)                   |

Yoxsullaşmış oblastların peyda olması faktını eksperimental Holl ölçmələri təsdiq edir. Məlumdur ki, elektronların konsentrasiyası ilə Holl əmsalı arasında

$$n = \frac{A_1}{e \cdot R_{HMS}} \quad (1)$$

münasibəti doğrudur. Burada  $A=1$ ,  $e$ -elektronun yüküdür. 1 sayılı cədvəldən görünür ki, məsaməli silisiumdakı Holl əmsalının qiyməti monokristallik silisiumdakından bir neçə tərtib böyük olur. Silindrik boşluqlara malik olan yarımkeçiricilər modelinə əsasən hesablanan Holl əmsalı monokristallik silisiuma aiddir. Beləliklə, MS-in monokristallik matrisində yükdaşıyıcıların yoxsullaşması faktı mövcuddur. Elektron konsentrasiyalarının matrisin həcminə görə orta qiyməti anod emalı müddəti 20 dəqiqə olduqda  $(1,6 \div 2,1) \cdot 10^{14} \text{sm}^{-3}$ , anod emalı müddəti 30÷60 dəqiqə olduqda isə  $(0,9 \div 2,7) \cdot 10^{13} \text{sm}^{-3}$  tərtibində olur. Anod emalının böyük müddətlərində MS-dəki elektron konsentrasiyası monosilisiumdakı elektron konsentrasiyasından təqribən 2 tərtib kiçik olur. Elektronların Holl ölçmələrindən

$$\mu_{MS} = \frac{R_{HMS}}{\rho_{MS}} \quad (2)$$

düsturu ilə təyin olunan yürüklüyü ilkin silisiuma nəzərən anomal böyük olur  $(10^3 \div 10^4 \frac{\text{sm}^2}{V \cdot \text{san}})$ . Bu fakt MS matrisinin qeyri-bircins olmasına şəhadət verir. 4 sayılı şəkildə təsvir olunan modelə əsasən belə sistemlərdə Holl əmsalı yüksəkölü məsaməətrafi oblastla [1], elektrik keçiriciliyi isə aşağıölü sahələrlə müəyyən edilir. Ona görə də belə sistemlərdə yükdaşıyıcıların yürüklüyünü (2) düsturuna əsasən hesablamaq olmaz. Holl effekti və elektrik keçiriciliyinin eksperimental qiymətləri 4 sayılı şəkildə göstərilmiş modelin düzgünlüyünü sübut edir. Beləliklə, eksperimentlərdən aydınlaşdırılmışdır ki, MS-də hər bir məsamənin ətrafında elektron konsentrasiyası monokristallik matrisin digər sahələrində olduğundan iki tərtib az olan yoxsullaşmış oblastlar yaranır.

Məsamələr ətrafında yoxsullaşmış oblastların yaranması mülahizəsi MS-yə həsr olunmuş [3,4] sayılı işlərdə də qeyd olunmuşdur. Belə oblastların mövcud olması mülahizəsi həm məsamənin yaranmasına həsr olunmuş modellərdə [3], həm də MS təbəqələrinin yüksək xüsusi müqavimətə malik olması

faktını izah etmək üçün istifadə edilmişdir. Yoxsullaşmış oblastların yaranması səbəbi kimi həm əzməsaməli, həm də çoxməsaməli materiallarda mümkün ola bilən bir neçə fiziki hadisə nəzərdən keçirilmişdir.

İndi əzməsaməli MS-də mümkün ola bilən fiziki hadisələrə baxaq. Ədəbiyyatda əzməsaməli silisium üçün aşağıda qeyd olunanları mümkün sayırlar:

- Yükdaşıyıcıların məsamə səthindəki «tələlər»də tutulması [4,5]. ([5] sayılı işdəki hesablamalara görə MS-də «tələ»lərin konsentrasiyası  $\approx 10^{19} \text{sm}^{-3}$  tərtibində olub, aşqar atomların sayına təqribən bərabər olur.

- Aşqar atomlarının matrisdən elektrolitə və məsamə divarına keçməsi,

- Aşqar atomlarının müxtəlif təsirlər, o cümlədən, hidrogen atomlarının passivləşdirici təsiri hesabına passivləşməsi [5,6],  
- Məsamə kənarında zonaların əyilməsi nəticəsində aşqar atomların MS/ silisium altlıq sərhədindən məsamənin divarına keçməsi və ya altlığın dərinliyinə nüfuz etməsi [2].

Sadalanan səbəblərin hər biri məsamə ətrafında yüksəkölü yoxsullaşmış oblastların yaranmasını təsvir edə bilər. Lakin son vaxtlar [6,7] dəqiq isbat olunmuşdur ki, monokristallik matrisdə legirəedicilərin sayı dəyişilməz qalır. Ona görə də ikinci səbəb haqqında danışmaq mənasız olur.

Məlumdur ki, silisiuma atomar hidrogenin daxil edilməsi elektrik cəhətdən aktiv olan aşqar atomlarının passivləşməsi və qeyri-aktiv elektrik halına keçməsinə səbəb olur [8-13]. Bu effekt legirəedicilərin aşqar atomlarının 99%-nin qeyri-aktiv elektrik halına keçdiyi akseptor (B, Al) passivləşməsində daha parlaq müşahidə olunur. Donorlarda (P, As, Sb) passivləşmə zəif olsa da, müəyyən şəraitdə silisiuma arsenlə zəif legirə etdikdə passivləşmə səviyyəsi 80%-ə [12,14], fosforla zəif legirə etdikdə isə 90%-ə çatır. Atomar hidrogenin passivləşdirici təsiri aşqar atom-silisium-hidrogen mürəkkəb kompleksinin yaranması ilə əlaqələndirilir. Komplekslərin konfigurasiyası və rabitələrin növləri donor və akseptor aşqarlar üçün fərqlidir.

MS-in formalaşması prosesində hidrogenin mənbəyi elektrolit (HF) olduğundan, məsaməli təbəqənin həcmində kifayət qədər hidrogen olur. İkinci ion mass-spektroskopiyası və elastiki səpilmə metodları [15] ilə müəyyən olunmuşdur ki, məsaməlilik dərəcəsi və məsamə morfologiyasından asılı olaraq, MS-də H/Si nisbəti 0,1÷0,6-ya çatır. [7] sayılı işdə p-Si altlıqlı MS üçün infraqırmızı buraxma spektrindən hidrogenin konsentrasiyası üçün  $10^{19} \text{sm}^{-3}$  tərtibi alınmışdır. Şübhəsiz, hidrogenin müəyyən hissəsi məsamə divarlarında, o cümlədən, məsamələrin divarına çökmüş elektrokimyəvi reaksiya məhsullarının tərkibindədir. Lakin onun müəyyən hissəsi kristallik matrisin həcmində dərinliklərinə də nüfuz edə bilər. Bu versiyanın ilkin dolaylı isbatı tutum ölçmələrinin təhlili sayəsində [16] sayılı işdə verilmişdir. İkinci ion mass-spektroskopiyası və krater dərinliyinin ölçülməsi metodları vasitəsilə aparılan tədqiqatlar hidrogenin məsamə divarına nüfuz etməsi versiyasını təsdiq etdi. Hidrogenin silisiuma daxil edilməsinin məsamə yaranması prosesinə təsiri [17,18] sayılı işlərdə araşdırılmışdır. Ona görə də MS-də ən geniş yayılan aşqar olan hidrogenin (50%-ə qədər) rolu və anodlaşmada məsamə yaranması prosesi zamanı aşqar atomlarının hidrogenin təsiri ilə passivləşməsinin tədqiq edilməsi elmi və praktiki əhəmiyyətə malikdir. Eksperimental nəticələrin aşqar atomlarının hidrogenlə passivləşdirilməsi modeli çərçivəsində təhlili aşağıda göstərilən qaydada aparılmışdır. Nəzərə alınmışdır ki, məsamələr diametri 0,8 mkm olan sütunvari

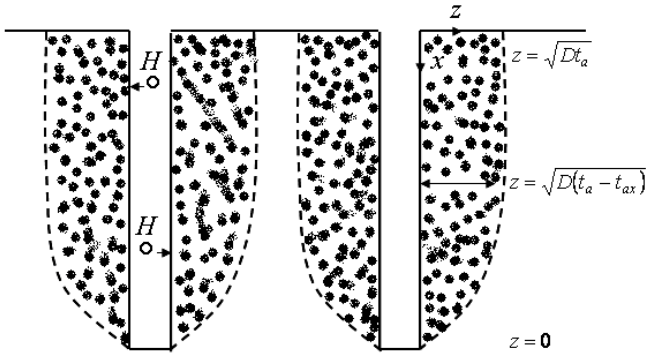
görünüşə malikdirlər və MS qalınlığının anodlaşma müddətindən asılılığı

$$d_{MS} \sim t_a^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

qanunu ilə verilir. Hidrogen silsiüm matrisə formalaşmaqda olan məsamədən radial istiqamətdə keçir. Bu prosesin davam etmə müddəti məsamə səthindəki həmin nöqtənin anod emalı müddətinə uyğun olur (Şək. 5). Məsamənin mənbəyindəki nöqtələr üçün diffuziya müddəti bütöv MS təbəqəsini formalaşdıran anod emalının tam müddətinə bərabər olur. Məsamə səthində mənbədən  $x$  məsafəsində yerləşən nöqtələr üçün  $t$  diffuziya müddəti,  $t_{ax}$  müddəti çıxılmaqla, anod emalının tam müddətinə bərabər olur.  $t_{ax}$  - məsamənin kristalın  $x$  dərinliyinə nüfuz etmə müddətidir. Hidrogenin silisiüma daxilolma dərinliyi  $z$  [19] sayılı işdə olan ifadəyə əsasən

$$z = (Dt)^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

düsturu vasitəsilə hesablanır. Burada,  $D$  - hidrogenin silisiüma diffuziya əmsalı,  $t$  - diffuziyanın müddətidir.



Şək. 5. MS-in formalaşması prosesində hidrogenin məsamədən monokristallik matrisə keçidini təsvir edən model

Ədəbiyyat məlumatlarında hidrogenin silisiüma diffuziya əmsalı üçün alınmış qiymətlərdə müəyyən səpilmə vardır [8,19]. Səpilmə hidrogenin atomar və ya molekulyar şəkildə diffuziya etməsi ilə yanaşı, silisiümdəki defektlər və aşqar atomları konsentrasiyasının diffuziya prosesinə həssas olması faktları ilə izah olunur. Hazırda zəif legirə olunmuş silisiümdə atomar hidrogenin diffuziyasını hesablamaq üçün (məsələn, 8, 15-17 işlərində) Vieringen-Varmolts düsturundan istifadə edilir:

$$D = D_0 \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{kT}\right) = 9,4 \cdot 10^{-3} \exp\left(-\frac{0,48}{kT}\right), \frac{sm^2}{san} \quad (5)$$

Burada,  $0,48$ - eV- lərlə ifadə edilmiş  $E_a$  aktivləşmə enerjisidir. Bu düstura əsasən  $300K$  anodlaşma temperaturunda

diffuziya əmsalı  $D = 8,4 \cdot 10^{-11} \frac{sm^2}{san}$  olur. Bu o deməkdir ki,

10 dəqiqə diffuziya müddətində hidrogenin nüfuz etmə dərinliyi  $z=2,2$  mkm, 30 dəqiqəlik diffuziya müddətində isə  $z=3,9$  mkm olur.

Məsamə divarlarında  $z$  dərinliyinə nüfuz edən hidrogen aşqar fosfor atomlarını passivləşdirir və nəticədə məsamə

divarlarında  $z(x)$  səthi ilə məhdudlaşan yoxsullaşmış oblast yaranır. Ona görə də MS-də iki yüksəkumlu faza- məsamələr oblastı və məsamə ətrafındakı yoxsullaşmış oblast yaranır. Bunun üçün effektiv mühitlər modelində elektrik keçiriciliyi nöqtəyi-nəzərdən hər iki yüksəkumlu fazanın nəzərə alınması, yəni  $P$  məsaməlilik göstəricisi əvəzinə bu fazaları nəzərə ala bilən  $P_1$  effektiv məsaməlilik göstəricisindən istifadə etmək lazımdır.  $P$  məsaməliliyi

$$P = \frac{n \cdot V_0}{V} \quad (6)$$

düsturuna əsasən hesablanır. Burada,  $V$ -n sayda məsaməyə malik olan konkret həcm,  $V_0$ -l tutduğu həcmdir.  $P_1$  məsaməliliyi

$$P_1 = \frac{nV_1}{V} = \frac{n \cdot (V_0 + V^*)}{V} \quad (7)$$

düsturuna əsasən təyin olunur. Burada,  $V_1$ - məsamə və onun ətrafındakı yoxsullaşmış oblastın tutduğu həcm,  $V_0$ - bir məsamə ətrafındakı yoxsullaşmış oblastın tutduğu həcmdir. Verilmiş hal üçün

$$\frac{P_1}{P} = \frac{(V_0 + V^*)}{V_0} \quad (8)$$

düsturu doğrudur.

Beləliklə, (8) düsturunun köməyi ilə məsələnin konkret şərtlərində (silindrik məsamələrin radiusu  $0,8$ mkm,  $T = 300K$ ,  $D = 8,4 \cdot 10^{-11} \frac{sm^2}{san}$ )  $P_1$  effektiv məsaməliliyi

hesablamaq olar. Hesablamaların nəticələri 2 sayılı cədvəldə göstərilmişdir. Cədvəldən görünür ki, tədqiq olunan MS nümunələrində effektiv məsaməlilik çəki məsaməliliyindən bir neçə dəfə artıqdır. 3 və 4 sayılı nümunələrdə effektiv məsaməlilik 70%-dən çoxdur və konkretləşdirilmir, çünki effektiv mühitlər modeli üçölçülü sistemdə başvermənin astanası ilə (70%) məhdudlaşır.

Cədvəl 2

Tədqiq olunmuş strukturların çəki və effektiv məsaməlilikləri

| Nümunənin nömrəsi | $t_a$ ,dəq. | $d_{MS}$ , mkm | $P_0$ ,% | $P_1$ ,% | $P_2$ ,% |
|-------------------|-------------|----------------|----------|----------|----------|
| 1                 | 20          | 48             | 5        | 31       | 23÷35    |
| 2                 | 30          | 56             | 6        | 53       | 45÷68    |
| 3                 | 40          | 67             | 7        | >70      | 71÷86    |
| 4                 | 60          | 100            | 9        | >70      | 71÷87    |

İndi  $P_1$  qiymətlərini effektiv məsaməliliyin elektrofiziki ölçmələrdən alınan  $P_2$  qiymətləri ilə müqayisə edək. MS təbəqələrinin xüsusi müqavimətlərinin qiymətləri (cədvəl 1) və

$$\frac{\rho_{mes.S}}{\rho_{monoS}} = \frac{(1 - P_2)}{(1 + P_2)} \quad (9)$$

düsturuna əsasən  $P_2$ -nin qiymətləri təyin edilmişdir. (9) düsturu effektiv mühitlər nəzəriyyəsinə silindrik məsamələrə malik olan məsaməli yarımkeçiricinin (1) düsturuna

uyğundur. Effektiv məsaməliliyin  $P_1$  nəzəri və  $P_2$  eksperimental qiymətləri üst-üstə düşür. Deməli, aşqar atomlarının hidrogen tərəfindən passivləşdirilməsi nəzəriyyəsi tədqiq olu-

nan nümunələrin elektrik keçiriciliyinin eksperimental nəticələrini kəmiyyətcə yaxşı izah edir.

- [1] П. Блад, Дж.В. Ортон. Методы измерения электрических свойств полупроводников. Зарубежная радиоэлектроника. 1981, т.1, с.3-50.
- [2] M.I.J.Beale, J.D.Bendjamin, M.J. Uren et al. An experimental and theoretical study of the formation and microstructure of porous silicon. J. Cryst. Growth. 1985, V.73, P. 622-636.
- [3] R.C. Anderson, R.S. Muller, C.W. Tobias. J. Electrochem. Soc., 1991, V.138, P.,3406-3411.
- [4] D. Stievenard, D. Deresmes. Appl. Phys. Lett., 1995, V.67, P. 1570-1572.
- [5] M. Ben-Chorin. Resistivity of porous silicon. In: Properties of porous silicon. Ed. by Canham L., DERA. 1997, P. 165-175.
- [6] A. Grosman, C. Ortega. Dopants in porous silicon. In: Properties of porous silicon. Ed. by Canham L., DERA. 1997, P. 328-335.
- [7] G. Polisski, G. Dollinger, A. Bergmaier et al. Acceptor depletion in p-type porous silicon. Phys. Stat. Sol. (a). 1998, V. 168, P. R1-R2.
- [8] S.J. Pearton, J.W. Corbett, T.S. Shi. Hydrogen in crystalline semiconductors. Appl. Phys. A. 1987, V.43, P. 153-195.
- [9] B.L. Sopori, X. Deng, J.P. Benner et al. Solar Energy Materials and Solar Cells. 1996, V.41/42, P. 160-169.
- [10] N.S. Ritova. FTP, 1991, T.25, S. 316-322. (in Russian)
- [11] J.I. Pankove, P.J. Zanzucchi, C.W. Magee et al. Hydrogen localization near boron in silicon. Appl. Phys. Lett. 1985, V.46, P. 421-423.
- [12] N. Fukata, S. Sasaki, S. Fujimura et al. Jpn. J. Appl. Phys. 1996, V.35, Part 1, P. 3937- 3941.
- [13] Б.Н. Мукашев, М.Ф. Тамендаров, С.Ж. Токмолдин ФТП, 1992, т.26, с. 1124-1134.
- [14] K. Yokoto, K. Hosokawa, K. Terada et al. Jpn. J. Appl. Phys. 1997, V.36, Part 1, P. 4355- 4358.
- [15] A. Grosman, C. Ortega. Chemical composition of fresh porous silicon. In: Properties of porous silicon. Ed. by Canham L., DERA. 1997, P. 145-154.
- [16] P. Allongue, C. Henry de Villeneuve, L. Pinsard et al. Appl.Phys.Lett., 1995, V.67, P. 691
- [17] P. Allongue, C. Henry de Villeneuve, M.C. Bernard et al. Thin Sol.Films. 1997, v.297, p. 1
- [18] S. Fellah, N. Gabouze, F. Ozanam et al. Phys. Stat. Sol. (a), 2000, V.182, P.31-36.
- [19] В.Б. Болтакс Диффузия в полупроводниках.- М.: Наука, 1962, 412с.

**G.A. Gasanov**

**HALL EFFECT AND RESISTIVITY OF WEAKLY ALLOYED MACROPOROUS SILICON FORMED ON n-Si BASE**

This article is dedicated to the research of temperature dependence of Hall effect and resistivity in macroporous silicon which is weakly alloyed with phosphorus and formed on n-Si base. The character of passivation process of admixture atoms via to generated hydrogen atoms during MS formation process was investigated. The degraded range occurring on pore walls' influence on electrical properties of MS has been researched.

**Г.А. Гасанов**

**УДЕЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ И ЭФФЕКТ ХОЛЛА В МАКРОПОРИСТОМ КРЕМНИИ, ПОЛУЧЕННОМ НА СЛАБОЛЕГИРОВАННЫХ ПОДЛОЖКАХ n-Si**

Статья посвящена изучению температурных зависимостей удельного сопротивления и эффекта Холла в макропористом кремнии, полученном на слаболегированных подложках n-Si. Анализирован характер процесса пассивации примесных атомов атомами водорода выделившиеся из электролита в ходе формирования пористой структуры. Изучено влияние обедненных областей на электрические свойства пористого кремния.

Received: 16.01.08