

Zn VA S KIRISHMA ATOMLARINI KREMNIYGA LEGIRLASHNING DIFFUZIYA USULINING MATEMATIK MODELI

M.K.Haqqulov – katta o‘qituvchi

B.O.Isakov – fizika-matematika fanlari bo‘yicha falsafa doktori

F.Q.Shakarov – katta o‘qituvchi

Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti

S.Y.Mahmudov – katta o‘qituvchi

F.O.Sodiqova – magistrant

Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti Qo‘qon filiali

Tayanch so‘zlar: kremniy, oltingugurt, rux, diffuziya, model.

Ключевые слова: кремний, сера, цинк, диффузия, модель.

Key words: silicon, sulfur, zinc, diffusion, model.

1. Kirish. Taqiqlangan soha energiyasi yuqori bo‘lgan birikmali yarimo‘tkazgichlar optik tadqiqotlar va ilovalarni ishlab chiqish uchun yangi imkoniyatlar yaratdi. Yorug‘lik chiqaruvchi diodlar, tekis panelli displeylar, chiziqli bo‘lmagan optik qurilmalar, sensorlar, lazerlar va fotokataliz kabi optoelektronik qurilmalarda qo‘llanilishi tufayli so‘nggi yillarda ZnS birikmali yarimo‘tkazgichga bo‘lgan qiziqish ortib bormoqda [1:5]. Taqiqlangan soha energiyasining kattaligi sababli ushbu materiallar LEDlarni ishlab chiqarish uchun yaxshi nomzod bo‘ladi [2:1139]. Lekin ushbu ZnS binar birikmali yarimo‘tkazgich monokristallini olish, ham texnologik jihatdan ham xom ashyo jihatdan qimmatga tushadi. Mualliflar [3:636] Si sirtida GaSb binar birikmalari orolchalarini diffuziya usulida shakllantirib, ushbu materialni taqiqlangan soha energiyasi hamda panjara parametrlarini ham tajriba yo‘li orqali ham nazariy jihatdan ko‘rsatib berishgan. Shu sababli, olinish texnologiyasi yaxshi o‘zlashtirilgan, yer qobig‘ida boy zaxiraga ega bo‘lgan Si monokristallida, ZnS binar birikmalarini shakllantirib, yangi turdagi materiallarni diffuziya usuli yordamida olish bilan hal qilish mumkin. Shuning uchun, Zn va S kirishma atomlarini kremniyga diffuziya qilish usulida legirlashning matematik modelini ishlab chiqish ilmiy ahamiyatga ega.

2. Nazariy qism. Adabiyotlardan ma‘lumki, diffuziya jarayoni yarimo‘tkazgich materiallarda kiritiladigan kirishma atomlari manbaining turiga bog‘liq ravishda cheksiz va cheklangan manbadan amalga oshiriladi [4:2]. Cheksiz manbadan diffuziyada diffuzant manbasi uzluksiz bo‘lib, konsentratsiyasi vaqt davomida o‘zgarmaydi va (1) tenglama yordamida ifodalanadi.

$$N(x, t) = C_s \cdot \operatorname{erfc} \left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right) \quad (1)$$

bu yerda: C - konsentratsiya, x - masofa, erfc - xatolik funksiyasi, t - vaqt. Cheklangan manbadan diffuziyada diffuzant manbasi chegaralangan bo‘lib, konsentratsiyasi vaqt davomida o‘zgaradi va (2) tenglama yordamida ifodalanadi.

$$N(x, t) = \frac{C_s}{\sqrt{\pi \cdot D \cdot t}} \cdot \exp \left(-\frac{x^2}{4 \cdot D \cdot t} \right) \quad (2)$$

Mualliflar [5:305] tomonidan rux va oltingugurt kirishma atomlarini kremniydagi maksimal eruvchanligi tajribalar asosida aniqlangan. Bunda, rux va oltingugurt kirishma atomlarining kremniydagi eruvchanligining eng yuqori qiymati mos ravishda $N_{Zn}=6 \cdot 10^{16}$ va $N_S=3 \cdot 57 \cdot 10^{16}$ ga teng.

2.1. Diffuziya koeffitsienti. Diffuziya koeffitsienti, bir moddaning boshqa moddaga harakatlanish tezligini ifodalovchi miqdordir. Bu koeffitsient, matematik modellar

yordamida va matematik formulalar orqali ifodalangan bo‘lib, asosan kremniy kristall panjarasida kirishma atomlarning taqsimoti Fik qonunlaridan kelib chiqib aniqlanadi. Agar, $N(x, t)$ - kirishma atomlarining zichligi, D - ularni diffuziya koeffitsienti bo‘lsa, diffuziya jarayonida ishtirok etayotgan (bir yo‘nalishda) atomlarning oqimi quyidagiga teng bo‘ladi:

$$I = -D \frac{\partial N}{\partial x} \quad (3)$$

bunda: D - diffuziya koeffitsienti, ∂N - kirishma atomlarning kremniyga kirishidagi konsentratsiya miqdori, ∂x - kirishma atomlarning kremniy materialiga kirish chuqurligi. Diffuziya koeffitsienti ($D[\text{sm}^2/\text{s}]$) Arenius diffuziya tenglamasi asosida hisoblanadi:

$$D = D_0 \exp \left(\frac{-E_f}{kT} \right) \quad (4)$$

bunda: D_0 - harorat va E_f - faollanish energiyasi (eV) ga bog‘liq bo‘lmagan eksponensial kattalik (diffuziya doimiysi), k - Boltsman doimiysi, T - mutlaq harorat. Diffuziya doimiysi D_0 va faollanish energiyasi E_f diffuziyalanadigan yarimo‘tkazgich element va kirishma atomlarining fizik xususiyatlariga qarab turli elementlar uchun farq qilishi mumkin. Cheksiz o‘lchamli plastinkadagi diffuziya Fikning ikkinchi qonuniga asosan “erf funksiya” yordamida aniqlanadi:

$$C(x, t) = C_0 \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right) \quad (5)$$

Bu yerda: $C(x, t)$ - joylashuv va vaqtga bog‘liq konsentratsiya (mol/sm^3), C_0 - boshlang‘ich konsentratsiya, $\operatorname{erf}(x)$ - xatolik funksiyasi, x - masofa (sm), t - vaqt (s).

1-jadval. Rux va oltingugurt elementlarining kremniydagi diffuziya parametrlari

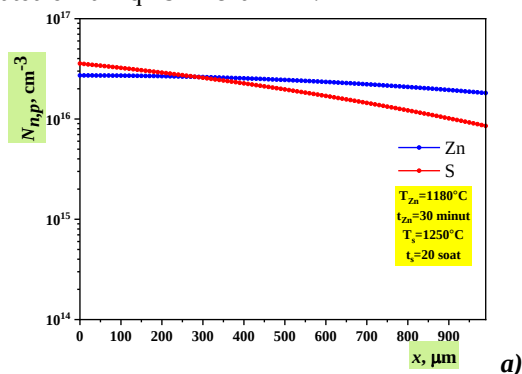
Element	Diffuziya koeffitsienti, D_0 (sm^2/s)	Faollanish energiyasi, E_f (eV)	Mexanizm
S	0.92	2.2	Tugunlararo
Zn	0.1	1.4	Tugunlararo

2.2. Kirishmalarning eruvchanligi. Kirishmalarning eruvchanligi atamasi turli materiallarda, ayniqsa qattiq jism va yarimo‘tkazgichlarda kirishma atomlar diffuziyalanadigan materialda qanday tarqalishi va erishi jarayonini ifodalaydi. Bu jarayonlar materialshunoslikda, qattiq jismlarning xossalari va elektron qurilmalarining ishlashini tushunishda muhim ahamiyatga ega. Yarimo‘tkazgich materiallarda eruvchanlik quyidagi omillarga bog‘liq: haroratga; materialning turiga; atom radiusiga; kristall panjara tuzilishiga. Kirishmalar materialda yuqori harorat ta‘sirida erishi mumkin. Yuqori

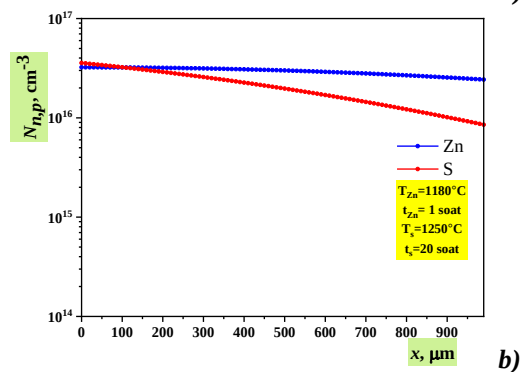
haroratda atomlar ko'proq kinetik energiyaga ega bo'ladi va kristall panjarada ko'proq harakatlanadi. Har xil materiallar har xil eruvchanlik xususiyatlariga ega.

3. MathCad dasturida Zn va S kirishma atomlarini kremniyga legirlashning diffuziya usulini matematik modeli.

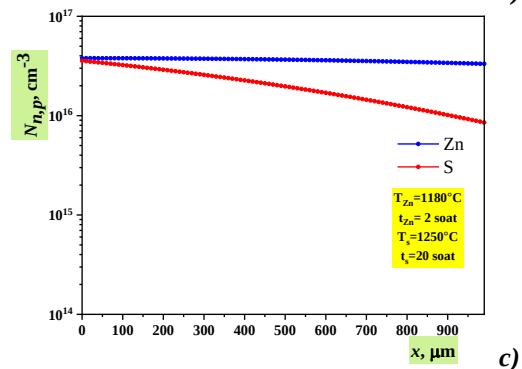
Kremniyda ZnS binar nanoklastlarini hosil qilish uchun rux (Zn) va oltingugurt (S) kirishma atomlarining eruvchanlik qiymatlari maksimal darajada bir-biriga yaqin bo'lishi talab yetiladi. Ushbu shartni ta'minlash maqsadida *MathCad* dasturida ishlab chiqilgan matematik model yordamida oltingugurt va rux kirishma atomlari kremniyga alohida, ketma-ket va parallel tarzda diffuziya taqsimoti hisoblandi. Ma'lumkin Zn va S kirishma atomlarini kremniyga ketma-ket hamda bir vaqtda (parallel) legirlash mumkin. Shu sababdan diffuziya jarayonini modellashda uch xil mexanizmni tanlab olindi: 1–kremniyga avval Zn kirishma atomlarini $T=1180^{\circ}\text{C}$ haroratda, so'ngra S kirishma atomlarini $T=1250^{\circ}\text{C}$ haroratda diffuziya qilish mexanizmi (ushbu haroratlarda Zn va S kirishma atomlarining kremniyda eruvchanliklari bir-biriga juda yaqin); 2– kremniyga avval S kirishma atomlarini $T=1250^{\circ}\text{C}$ haroratda, so'ngra Zn kirishma atomlarini $T=1180^{\circ}\text{C}$ haroratda diffuzi qilish mexanizmi; 3– kremniyga S va Zn kirishma atomlarini bir vaqtda (parallel) $T=1250^{\circ}\text{C}$ haroratda diffuzi qilish mexanizmi.



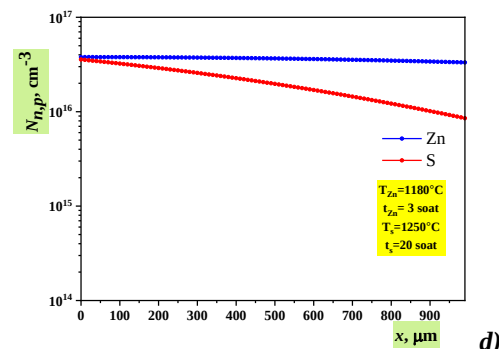
a)



b)



c)

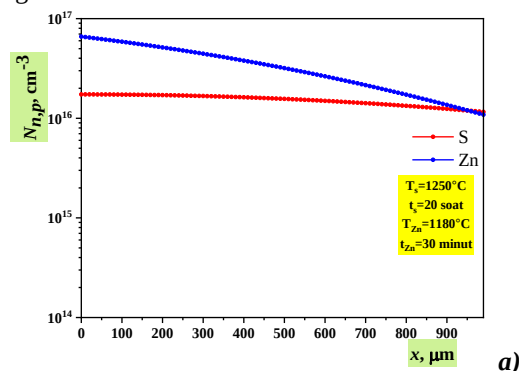


d)

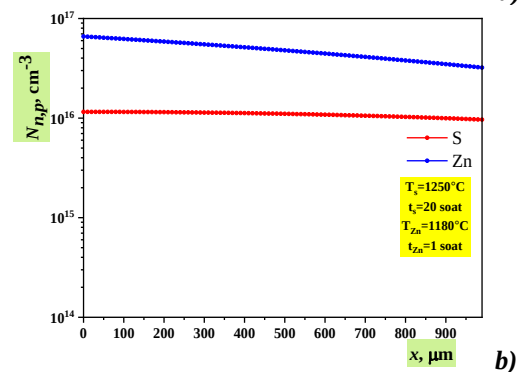
1-rasm. Kremniy monokristalliga dastlab rux ($T=1180^{\circ}\text{C}$; $t=30\text{ min}$, 1 soat; 2 soat, 3 soat) so'ngra oltin gugurt ($T=1250^{\circ}\text{C}$; $t=20\text{ soat}$) kirishma atomlari diffuziyasining chuqurlik bo'yicha taqsimlanishi:

a – $t=30\text{ min}$; b – $t=1\text{ soat}$; c – $t=2\text{ soat}$; d – $t=3\text{ soat}$.

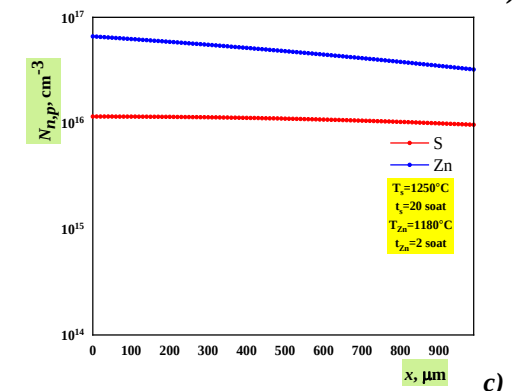
3.1. Kremniyga avval Zn kirishma atomlarini $T=1180^{\circ}\text{C}$ haroratda, so'ngra S kirishma atomlarini $T=1250^{\circ}\text{C}$ haroratda diffuziya qilish mexanizmi. Dastlab rux kirishma atomlari uchun diffuziya jarayoni 1180°C haroratda bajarilib, bu jarayonda diffuziya vaqtlari 30 min, 1 soat, 2 soat va 3 soat qilib belgilandi. Keyingi bosqichda oltingugurt kirishma atomlari uchun diffuziya jarayoni 1250°C haroratda amalga oshirildi. Bu sharoitida diffuziya vaqti 20 soat qilib belgilandi. Olingan natijalar 1-rasmda keltirilgan.



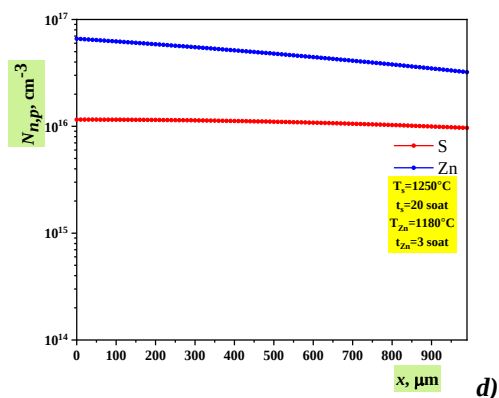
a)



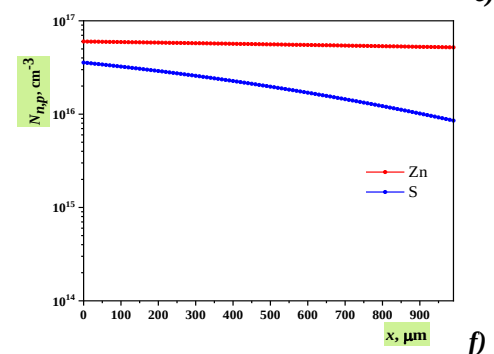
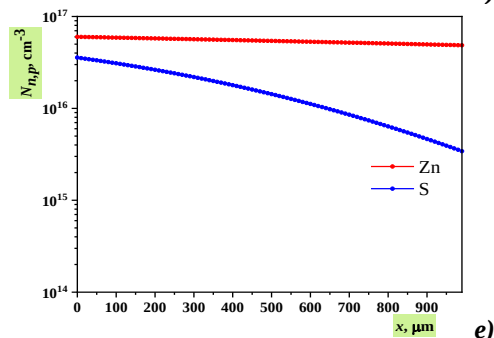
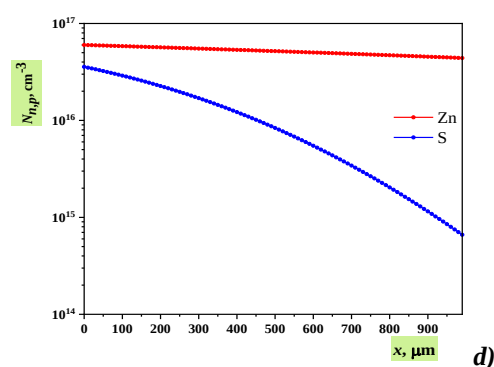
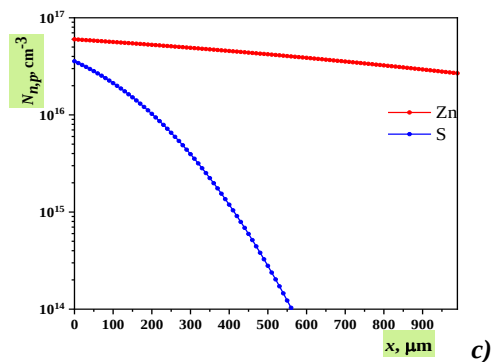
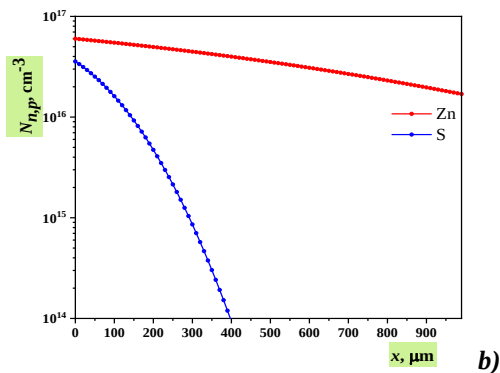
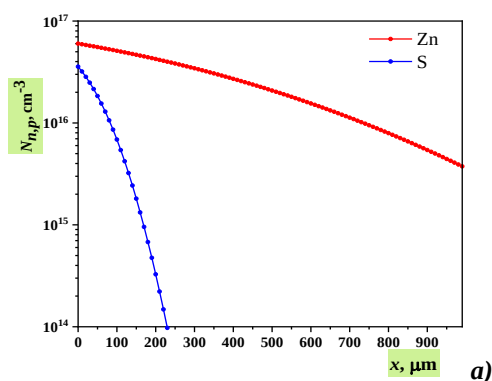
b)



c)



2-rasm. Kremniy monokristalliga dastlab oltingugurt ($T=1250\text{ }^{\circ}\text{C}$; $t=20$ soat) so'ngra rux ($T=1180\text{ }^{\circ}\text{C}$; $t=30$ min, 1 soat; 2 soat, 3 soat) kirishma atomlari diffuziyasining chuqurlik bo'yicha taqsimlanishi: a – $t=30$ min; b – $t=1$ soat; c – $t=2$ soat; d – $t=3$ soat.



3-rasm. Oltin gururt va rux kirishma atomlarini kremniy monokristalliga $T=1250\text{ }^{\circ}\text{C}$ haroratdagi parallel diffuziyasining taqsimoti:

a – $t=10$ min; b – $t=30$ min; c – $t=1$ soat; d – $t=5$ soat; e – $t=10$ soat; f – $t=20$ soat.

3.2. Kremniyga avval S kirishma atomlarini $T=1250\text{ }^{\circ}\text{C}$ haroratda, so'ngra Zn kirishma atomlarini $T=1180\text{ }^{\circ}\text{C}$ haroratda diffuziya qilish mexanizmi. Dastlab oltingugurt kirishma atomlari uchun diffuziya jarayoni $1250\text{ }^{\circ}\text{C}$ haroratda bajarildi va bunda diffuziya vaqti 20 soatni tashkil etdi. Rux elementi uchun esa diffuziya jarayoni $1180\text{ }^{\circ}\text{C}$ haroratda bajarilganda bu harorat uchun diffuziya vaqtlari 30 minut, 1 soat, 2 soat va 3 soatni tashkil etdi. Bir qancha o'tkazilgan hisoblash natijalaridan ba'zilarining grafigi, ya'ni $N_{np}\text{ (cm}^{-3}\text{)}$ – diffuziyalangan atomlarning konsentratsiyasi, $x\text{ [}\mu\text{m]}$ – diffuziya chuqurligiga bog'liqligi 2-rasmda keltirilgan.

3.3. Kremniyga S va Zn kirishma atomlarini bir vaqtda (parallel) $T=1250\text{ }^{\circ}\text{C}$ haroratda diffuziya qilish mexanizmi. Kremniy monokristalliga oltingugurt va rux kirishma atomlarining parallel diffuziyasi, ya'ni turli vaqt va harorat sharoitlarida bir vaqtda (parallel) oltingugurt va rux kirishma atomlari diffuziya qilingandagi taqsimoti hisoblandi. Bunda diffuziya jarayoni $1250\text{ }^{\circ}\text{C}$ haroratda bajarildi va diffuziya vaqtlari 10 minut, 30 minut, 1 soat 5 soat, 10 soat va 20 soatni tashkil yetdi. Bir qancha o'tkazilgan hisoblash natijalaridan ba'zilarining grafigi, ya'ni $N_{np}\text{ (cm}^{-3}\text{)}$ – diffuziyalangan atomlarning konsen-

tratsiyasi, x [μm]- diffuziya chuqurligiga bog'liqligi 3-rasmda keltirilgan.

Xulosa. Olib borilgan tahlillar va hisoblashlar natijasida kremniyda ZnS binar nanoklastlarining hosil bo'lishi uchun zarur shartlar aniqlandi. Xususan, rux va oltingugurt

kirishma atomlarining ketma-ket diffuziyasida dastlab rux, so'ng oltingugurt atomlarini kiritish maqsadga muvofiq ekanligi aniqlandi. Ushbu jarayonda rux uchun maqbul diffuziya harorati 1180°C, oltingugurt uchun esa 1250°C bo'lishi aniqlandi.

Adabiyotlar

1. McCloy J., Tustison R. Chemical vapor deposited zinc sulfide. // SPIE The International Society for Optical Engineering. 2013. – P. 1-9.
2. Onwudiwe D.C., Adeyemi J.O., Papane R.T., Bobinihi F.F., Hosten E. Synthesis, optical and structural characterisation of ZnS nanoparticles derived from Zn(II) dithiocarbamate complexes // Open Chemistry. 2021. Vol. 19. -P. 1134-1147.
3. Iliev Kh.M., Kovesnikov S.V., Isakov B.O., Kosbergenov E.Zh., Kushiev G.A., Khudoynazarov Z.B. The Elemental Composition Investigation of Silicon Doped with Gallium and Antimony Atoms // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. 2024. Vol. 60, №. 4. – P. 633–639.
4. Iliev Kh.M., Zikrillayev N.F., Ayupov K.S., Isakov B.O., Abdurakhmanov B.A., Umarchodjaeva Z.N., Isamiddinova L.I. Effect of GaSb Compound on Silicon Bandgap Energy. // Journal of Nano- and Electronic Physics. 2024. Vol. 16, № 2. - P. 1-4.
5. Iliyev X.M., Isamov S.B., Isakov B.O., Qurbonova U.X., Abduraxmonov S.A. A surface study of Si doped simultaneously with Ga and Sb. // East European Journal of Physics. 2023. № 3. – P. 303-307.

REZYUME. Ushbu ish Zn va S kirishma atomlarini kremniyga legirlashning diffuziya usulini matematik modellashga bag'ishlangan. Ishda diffuziyani 3 mexanizmini modeli ishlab chiqilgan bo'lib, hisoblashlar natijalari kremniyda ZnS binar nanoklastlarini shakllantirishda avval Zn so'ngra S kirishma atomlarini diffuziyasi afzalligini ko'rsatdi.

РЕЗЮМЕ. Работа посвящена математическому моделированию метода диффузии примесей Zn и S, легированных в кремний. В работе разработана модель трех различных механизмов диффузии, а результаты расчетов показали, что при формировании бинарных нанокластеров ZnS в кремнии предпочтительнее диффузия сначала Zn, а затем легирующих примесей S.

SUMMARY. This work is devoted to the mathematical modeling of the diffusion method of impurity Zn and S doped into silicon. In the work, a model of three different diffusion mechanisms was developed, and the results of the calculations showed that the diffusion of Zn first, then S dopants, is preferable in the formation of ZnS binary nanoclusters in silicon.

UO'K 622.274.4

QAZIB OLINGAN BO'SHLIQNI TO'LDIRISHDA BOYITISH FABRIKALARI CHIQINDILARIDAN FOYDALANIB RUDA SIFATSIZLANISH KO'RSATKICHINI KAMAYTIRISHGA ERISHISH

O.A.Xasanov – *texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori*

Toshkent davlat texnika universiteti Olmaliq filiali

D.X.Berdiyeva – *doktorant*

Toshkent davlat texnika universiteti

Tayanch so'zlar: qotuvchi to'lg'azma, qiya devorli kamera, boyitish qoldiqlari, maydalangan shlak, xvost qo'shimchasi aralashmasi, yoppasiga qazib olish.

Ключевые слова: твердеющая закладка, камера с наклонными стенками, хвосты обогащения, дробленый шлак, смесь добавок в хвостохранилище, вскрышные разработки.

Key words: hardening backfill, chamber with inclined walls, tailings enrichment, crushed slag, mixture of stability in the tailings pond, overburden mining.

Kirish. Dunyo kon-metallurgiya sanoatining xom ashyo bazasining asosini yirik metall rudali konlar tashkil etadi, ularni qazib olib bo'shliqni qotuvchi to'lg'azma aralashmalari bilan to'ldirish orqali amalga oshiriladi. Bunday qazib olish tizimining kamchiliklari texnologik sabablarga ko'ra to'lg'azma aralashmalari bilan ruda sifatsizlanishidir.

Bunday to'lg'azmaning ulushi 10% ga yetadi, vaholanki rudada 1% to'lg'azmaning mavjudligi metallarni ajratib olishni 10% ga kamaytiradi. Shuning uchun foydali qazilma bilan to'lg'azma materiallarini qazib olish ruda sifatsizlanishida dolzarbdir va uni ishlab chiqish kerak.

Qazib olingan bo'shliqni to'lg'azma bilan to'ldirish texnologiyasi Rossiyadagi Gorevskiy, Gayskiy, Korobkovskiy, Ridderskiy, Vysokogorskiy, Streltsovskiy, Tishinskiy, Talnaxskiy, Oktyabrskiy, Uchalinskiy konlarini va O'zbekiston konlarida, murakkab kon-geologik sharoitida yotgan konlarni o'zlashtirishda qo'llaniladi.

Konlarda foydali qazilmalarni qazib olib bo'shliqni to'ldirishda quyma, in'eksionli, gidro to'ldirish, yarim

alohida usullari qo'llaniladi. Bu usullarda foydali qazilmani qazib olish bir vaqtda qazib olinadi va keyin to'ldirish ishlari amalga oshiriladi.

Qattiq monolit to'lg'azmali sistemani qabul qilish ikkita qo'shni kameralar orasidagi seliklarsiz qazib olish mustahkamligini ta'minlaydi [1-3].

Tadqiqotning asosiy qismi. To'lg'azma xom ashyoli sifatsiz rudalarni boyitish orqali metallarni ajratib olish yomonlashadi. To'lg'azmadan foydalanish qazib olish intensivligini pasaytiradi, shuning uchun to'lg'azma massivi tog' jinsi va qotuvchi to'lg'azmani birlashtirish orqali shakllantiradi.

Aralashmaning asosi qotuvchi to'lg'azma bo'lib, u turli xil mustahkam massivda sun'iy tuzilmalarni yaratish imkoniyatini ifodalaydi. OKMK qoshidagi Kavuldi oltin konida ikkilamchi kameralarni qazib olish jarayonida kon bosim darajasini pasaytirish kameralarni trapetsiya shakl usuli ta'minlaydi.

Qazib olingan bo'shliq barqarorligiga va kon bosimining yuqoriligiga qarab, massivning barqarorligini