

KREMNIYGA FOSFOR VA BOR ATOMLARINING KETMA-KET DIFFUZIYASI

G'X.Mavlonov – fizika-matematika fanlari doktori, dotsent

S.B.Isamov – fizika-matematika fanlari bo'yicha falsafa doktori, dotsent

A.A.Usmonov - tayanch doktorant

Z.T.Kenjayev – assistent o'qituvchi

Toshkent davlat texnika universiteti

Tayanch so'zlar: kremniy, fosfor, bor, diffuziya, legirlash, elektron, kovak.

Ключевые слова: кремний, фосфор, бор, диффузия, легирование, электрон, дырка.

Key words: silicon, phosphorus, boron, diffusion, alloying, electron, hole.

Kirish. Kremniy zamonaviy elektronika va fotoenergetikaning asosiy materiallaridan biridir. Kremniyning bir qator muhim afzalliklariga qaramasdan, masalan, dunyodagi katta zahiralari va o'zlashtirilgan texnologiyalarning yuqori darajasi shuni ko'rsatadiki yarimo'tkazgich materialining tozaligiga cheklorlar mavjud. Bu kremniyning asosiy parametrlari bilan bog'liq, ya'ni ta'qiqlangan zonaning kichik qiymati, to'g'ri bo'lmagan zona va zaryad tashuvchilarning past harakatchanligi, lyuminessensiya xususiyatlarining yo'qli-giga va infraqizil spektral sohasida past yutulish koeffitsientiga olib keladi. Shu sababli, kremniyning asosiy parametrlarini boshqarish uchun texnologik yechimlarni ishlab chiqish, ya'ni kremniyga asoslangan yangi materiallarni sinfini ishlab chiqish kerak, bu kamchiliklarni bartaraf etish va $A^{III}B^V$ yarimo'tkazgichli birikmalar parametrlarini material parametrlariga yaqinlashtirish kerak [1].

[1] ishda har xil tabiatdagi krishma atomlarining klasterlari (elektr neytral, magnit, ko'p zaryadli va boshqalar) noyob funksional va elektrofizik xususiyatlarga ega material olish imkoniyatini yaratishi ko'rsatilgan.

Shu munosabat bilan III va V guruh elementlarining kremniy panjarasidagi o'zaro ta'sirini o'rganish katta amaliy qiziqish uyg'otadi. Ushbu o'zaro ta'sir natijasida turli xil klasterlar, tuzilmalar tabiatiga o'xshash binar va murakkabroq nanoklasterlarni hosil qilish mumkin. Bundan tashqari, III va V guruh elementlarining juda yuqori eruvchanligi ($N \geq 10^{20}-10^{21} \text{ sm}^{-3}$) tufayli kremniyning energetik tuzilishiga sezilarli ta'sir ko'rsatishi mumkin bo'lgan yetarlicha yuqori konsentratsiyani kiritish mumkin. Diffuziya jarayonini yaxshi boshqarilishi (diffuziya koeffitsiyenti juda pastligi sababli) kristallning sirtida ham, sirtga yaqin sohalarida ham klasterlar hosil bo'lishiga imkon beradi [2].

Ma'lumki III va V guruh elementlari kremniyning taqiqlangan sohasida donor va akseptor sathlarni hosil qiladi va shu sababli zaryadlangan ionlar shaklida bo'lib, ular atrofida kulon potentsiali maydonini hosil qiladi, bu esa sezilarli darajada tizimning erkin energiyasini oshiradi [3].

Kremniyda III va V guruh elementlarining fizikaviy, kimyoviy va diffuziya parametrlarini hisobga olgan holda olib borgan tahlilimiz shuni ko'rsatdiki, kremniy panjarada eng yuqori barqarorlikka ega bo'lgan III va V guruh elementlarining ba'zi juftlari mavjud, ulardan biri B va P juftligi [4]. Shuning uchun ushbu ishning maqsadi fosfor va bor krishma atomlarining ketma-ket diffuziyasi vaqtida kremniydagi fosfor va bor atomlarining o'zaro ta'sirini o'rganishdir.

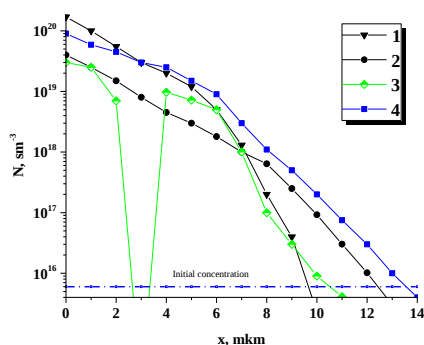
Namuna tayyorlash texnologiyasi va ularning tadqiqot usullari. Boshlang'ich material sifatida monokristalli kremniy KEF-4,5 ($N_p \sim 4 \times 10^{15} \text{ sm}^{-3}$) ishlatilgan. Fosfor va borning diffuziyasi $T = 1200^\circ\text{C}$ da havoda 2 soat davomida amalga oshirildi va quyidagi namunalar tekshirildi. Fosfor bilan ligerlangan I guruh namunalari bor diffuziyasiga mos keladigan sharoitlarda legirlangan va shu

sharoitda qizdirilgan. II Guruh namunalari avval fosfor bilan legirlangan namunalarga bor legirlangan. III guruh namunalari faqat bor legirlangan.

Krishma atomlarining konsentratsion taqsimlanishini kirish chuqurligiga bog'liqligi bosqichma-bosqich 4 zond usulida o'lchash bilan qatlam yedirish usuli bilan o'rganildi. Fosfor va borning barcha kiritilgan krishma atomlari elektroaktiv holatda bo'lib, zaryad tashuvchilarni hosil qiladi deb tasavvur qilingan. Fosfor va bor (elektronlar va kovaklar) konsentratsiyasini hisoblashda, krishma atomlari konsentratsiyasidan zaryad tashuvchilar harakatchanligining o'zgarishi hisobga olingan. O'tkazuvchanlik turi termozond yordamida aniqlandi.

Tadqiqot natijalari $T=1200^\circ\text{C}$ va $t=2$ soatda diffuziyadan so'ng (I guruh) namunalar yuzasida fosfor konsentratsiyasi $N_p=2 \cdot 10^{20} \text{ sm}^{-3}$ ni tashkil etdi, $x=10 \text{ mkm}$ chuqurlikda esa fosfor konsentratsiyasi kamaydi $\sim 4 \cdot 10^{15} \text{ sm}^{-3}$. Bu adabiyot ma'lumotlariga to'liq mos keladi [5]. Borning diffuziyadan keyingi sirt konsentratsiyasi (III guruh) $4 \cdot 10^{19} \text{ sm}^{-3}$ ga yetadi, $x=13 \text{ mkm}$ chuqurlikda esa $\sim 4 \cdot 10^{15} \text{ sm}^{-3}$ ga teng. Ushbu ma'lumotlar tajriba ishlari bilan ham tasdiqlangan. Nazorat namunalari yuzasida fosfor konsentratsiyasi bor konsentratsiyasidan 3 baravar yuqori edi. 1-rasm (1-egri chiziq) diffuziyadan keyingi fosfor konsentratsiyasining taqsimlanishini ko'rsatadi, (2-egri chiziq) III guruh namunalarda kovaklarning (bor) konsentratsiyasining taqsimlanishini ko'rsatadi va shuningdek (4-egri chiziq) bor diffuziya qilingan sharoitda qizdirilgan nazorat namunalarda fosforning konsentratsiyasining taqsimlanishini ko'rsatadi. Rasmdan ko'rinib turibdiki, qizdirish natijasida fosforning sirt konsentratsiyasi biroz pasayadi, $x = 14 \text{ mkm}$ chuqurlikda esa fosfor konsentratsiyasi 10^{15} sm^{-3} ga teng.

Shunday qilib, diffuziya va termik ishlov berishdan so'ng fosforning diffuziyadan keyin konsentratsiyasining taqsimlanishi bir-biridan sezilarli farq qiladi, bu namunalardagi fosforning konsentratsiyasi 8 mkm chuqurlikgacha bor konsentratsiyasidan oshib ketadi. Fosforning va borning ketma-ket diffuziyasi holatida kompensatsiyani kuzatish kerak, bu esa zaryad tashuvchilar konsentratsiyasining o'zgarishi va ularning harakatchanligi pasayishi tufayli namunalarning o'tkazuvchanligini pasayishiga olib keladi. 1-rasmdagi 3-egri chiziq fosfor diffuziya qilinganidan keyin bor bilan ligerlangan namunalarda zaryad tashuvchilarning konsentratsiyasining taqsimlanishini ko'rsatadi (namunalarning II guruhi). Termozond tekshiruvi shuni ko'rsatadiki, o'rganilayotgan namunalarda $x = 3-3,5 \text{ mkm}$ chuqurlikda p-tipli o'tkazuvchanlik mavjud. Ushbu sohada kovaklarning (bor) konsentratsiyasi elektronlar (fosfor) konsentratsiyasidan yuqori bo'lib, $x > 3-3,5 \text{ mkm}$ chuqurlikda namunalar n-turdagi o'tkazuvchanlikka ega bo'ladi. $x=3,5-4 \text{ mkm}$ sohada elektron konsentratsiyasi oshadi va $x=4-6 \text{ mkm}$ sohada elektron konsentratsiyasi deyarli o'zgarmas bo'lib qoladi, $x > 6 \text{ mkm}$ da u keskin kamayadi.



1-rasm. Kremniyda B va P elementlarining taqsimoti: (1) Fosfor va (2) bor elementlarining 1200 C da 2 soat diffuziyasidan keyingi taqsimoti. 3. Dastlab fosfor, ortidan bor diffuziya qilingan kremniyda zaryad tashuvchilar taqsimoti. 4. Fosfor elementlarining 1200 C da 2 soat qo'shimcha qizdirishdan keyingi taqsimoti.

Fosforning bor bilan oddiy kompensatsiyasi bilan bunday natija mumkin emas, chunki bu holda materialning sirtidagi o'tkazuvchanligi turi o'zgarish kerak (8 mkm chuqurlikdagi material hajmi n-tipda bo'lishi kerak) edi. Natijada, sirtga yaqin sohada yoki elektroaktiv bor konsentratsiyasining oshishi yoki elektroaktiv fosfor konsentratsiyasining pasayishi kuzatiladi.

Natijalarni muhokama qilish Bunday o'zgarishlar bir nechta sabablarga ko'ra bo'lishi mumkin:

1) Borning diffuziya koeffitsientining kristall hajmida fosfor ionlari ishtirokida ortishi, bu kremniy panjarasi fosfor ionlari ta'siri natijasida kengayishi (fosfor ionining diametri panjara doimiysidan katta) tufayli sodir bo'ladi, bu sirt yaqinidagi bor konsentratsiyasining oshishiga olib keladi.

2) Kremniy panjarasining siqilishi tufayli bor ionlarini diffuziya qilish orqali fosfor ionlarini kristall hajmiga kiritish (bor ionining diametri panjara doimiysidan kichik), bu yuzaga yaqin fosfor konsentratsiyasining pasayishiga olib keladi.

3) Diffuziya vaqtida kremniy panjarasida joylashgan neytral bor-fosforli komplekslarning hosil bo'lishi, bu tarqalish markazlari konsentratsiyasining pasayishiga va zaryad tashuvchilarning harakatchanligining oshishiga, shuningdek ikkalasining diffuziya koeffitsientining pasayishiga olib keladi.

4) Bor va fosfor ionlarining elektrostatik o'zaro ta'siri diffuziya koeffitsientlarining pasayishiga olib keladi.

Tajriba natijalari shuni ko'rsatdiki kremniy tarkibida fosforning konsentratsiyasi borning elektroaktiv konsentratsiyasining oshishiga olib keladi deb tasdiqlashga imkon beradi. Shunday qilib, fosfor va borning ketma-ket diffuziya qilinish sharoitida sirtidagi elektroaktiv bor atomlarining konsentratsiyasi kuchsiz legirlangan kremniy uchun hisoblanganidan 2,5-3 baravar yuqori bo'ldi. Olingan eksperimental ma'lumotlar [5] ish natijalari bilan mos tushadi.

Olingan eksperimental natijalarni faqat fosfor va bor aralashmasi atomlarining o'zaro kompensatsiyasi bilan izohlash mumkin emas. Shuning uchun, bu hodisa diffuziya jarayonida fosfor va bor atomlari oqimlarining o'zaro ta'siri bilan bog'liq deb aytish mumkin.

Yuqorida ko'rsatilgandek, olingan natijalar [6] ning xulosalariga zid kelmaydi va shuni aytish mumkinki, kremniy panjarasidagi o'zaro ta'sir natijasida donor-akseptor $\{P^+B^-\}$ komplekslarining katta qismi paydo bo'ladi. $\{P^+B^-\}$ komplekslar faqat fosfor va bor atomlari bir-biriga yaqin bo'lganida mavjud, ya'ni ular kremniy kristalli panjarasida ikkita qo'shni joyni egallaydilar.

Adabiyotlar

- Бахадырханов М. К., Исамов С. Б. Журнал технической физики. 2021, том 91, вып. 11.
- Bakhadyrkhanov M.K., Ayupov K.S., Mavlyanov G.Kh., Isamov S.B. Semiconductors, 44 (9), 1145 2010.
- Бахадирханов М.К., Абдурахманов Б.А., Зикриллаев Х.Ф. Приборы. 5 (215), 39 (2018).
- Bakhadyrkhanov M.K., Sodikov U.X., Iliev Kh.M., Tachilin S.A., Tuerdi Wumaier. Materials Physics and Chemistry, 1, 89. 2019.
- Эмсли Дж. Элементы: Пер. с англ. Мир, -С.256. 1993.
- Тишковский Е.Г., Ободников В.И., Таскин А.А., Феклистов К.В., Серяпин В.Г. ФТП, 34 (6), 655 2000.

REZYUME

Bu ishda kremniyga alohida bor, fosfor, ketma-ket bor va fosfor diffuziya qilingan 3 guruh namunalari o'rganildi. Buni o'rganishdan maqsad kremniyga ketma-ket diffuziya qilingan bor va fosforning o'zaro ta'siri va taqsimotini o'rganish. Natijada katta konsentratsiyada fosfor kiritilgan kremniyga borning diffuziyasi vaqtida elektroaktiv bor atomlari 2,5-3 marta ko'p fosfor atomlarini kompensatsiya qilib material o'tkazuvchanlik turini o'zgartirishi aniqlandi.

РЕЗЮМЕ

В этой работе исследованы и изучены 3 группы образцов диффузии в кремнии, отдельно фосфор и бор, последовательного диффузии фосфора и бора. Целью данного исследования является изучение взаимодействия и распределения фосфора и бора диффузии с кремнием. В результате было обнаружено, что при диффузии бора в кремний с высокой концентрацией фосфора атомы электроактивного бора компенсируются в 2,5-3 раза больше атомов фосфора и меняют тип проводимости материала.

SUMMARY

In this work investigated and studied 3 groups of diffusion samples in silicon, separately phosphorus and boron, sequential diffusion of phosphorus and boron. The aim of this study is to study the interaction and distribution of phosphorus and boron diffusion of silicon. As a result, it was found that when boron diffuses into silicon with a high phosphorus concentration, the atoms of electroactive boron compensate 2,5-3 times more phosphorus atoms and change the type of material conductivity.

SIMULATION OF REPRODUCTION OF FIXED ASSETS AND CURRENT CAPITALS OF THE AGROINDUSTRIAL COMPLEX

Д.Т.Мухамедиева – doctor of Technical Sciences, professor

Д.Ш.Зиядуллаев – candidate of Technical Sciences, docent

Ш.Ўроқов – researcher

Тошкент ирригация ва қишлоқ хўжалигини механизациялаш муҳандислари институти
миллий тадқиқот университети

Таянч сўзлар: модел, моделлаштириш, агросаноат, оптималлаштириш, технология.

Ключевые слова: модель, моделирование, агропромышленность, оптимизация, технология.

Key words: model, modeling, agro-industry, optimization, technology.

1. Introduction. As shown by the results of the study, in the branches of the agro-industrial complex there are great potential opportunities to provide the domestic consumer market, increase the volume of exports in the form of finished products [1].

The main task of deepening economic reforms is to

optimize the structure of production in agriculture and processing industries, taking into account the demand of both the internal and external markets. In a market economy, improving the quality of breeding varieties of agricultural crops and obtaining a high income is one of the main problems [2].