

*Г. А. ИСМАЙЛОВА, Г. Ш. ЯР-МУХАМЕДОВА, Н. Б. ИСЕМБЕРДИЕВА, Ф. Б. ЖУСИПБЕКОВА,
А. Г. КАЛИЕВА, А. НУРГАЛИЕВА, М. КОШИМОВА, А. А. МАРХАБАЕВА*

(Казахский национальный университет им аль-Фараби, Алматы, Казахстан)

ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТИ «НАНОКРИСТАЛЛЫ $A^3B^5 + Si$ » МЕТОДОМ СКАНИРУЮЩЕЙ ЗОНДОВОЙ МИКРОСКОПИИ

Аннотация. В работе найден элементный состав «нанокристаллы $A^3B^5 + Si$ » в атомарных и весовых процентах. Определен точный состав и концентрации ионов III и V групп Периодической системы элементов, внедренных в монокристаллический кремний.

Ключевые слова: монокристаллический кремний, светоизлучающие материалы, ионная имплантация, СЗМ метод.

Тірек сөздер: монокристалды кремний, жарық шығаратын материалдар, ионды имплантация, СЗМ әдісі.

Keywords: Monocrystal silicon, light-emitting materials, ion implantation, SPM.

Введение. В связи с активным развитием технологий получения микро- и наноструктур на основе Si с улучшенными оптоэлектронными свойствами имеется ряд актуальных задач, связанные с получением светодиодных структур в инфракрасном и видимом диапазоне, что позволяет

использовать свет вместо электрического импульса для передачи сигнала в сверхбольших интегральных схемах и тем самым увеличить быстродействие и уменьшить размеры элементов схемы [1]. Получение принципиально новых результатов фундаментальных и прикладных исследований в физике полупроводников, оптоэлектроники, нанофотоники, в частности связанных с разработкой методик и проведением новых экспериментов по комплексному исследованию структурных и оптических свойств новых композитных слоев позволит глубже понять многие физические процессы в сложных композитных системах [2].

Материалы и методика исследований. В данной работе исследовались морфология поверхности и химический состав нанокompозитов полученных методом ионной имплантации с последующими термообработками. С помощью сканирующего электронного и атомно-силового микроскопов был сделан энергодисперсионный анализ 5-ти имплантированных образцов и была выявлена концентрация внедренных элементов в монокристаллическом кремний.

На рисунке 1 представлен внешний вид СЭМ Quanta 3D 200in используемый при работе.



Рисунок 1 – СЭМ Quanta 3D 200in

Результаты эксперимента. С помощью сканирующего электронного микроскопа получили энергодисперсионный анализ. Первый исследованный образец – монокристаллический кремний имплантированный ионами As (170 кэВ, $3,2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$) и In (250 кэВ, $2,8 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$) в температуре 500°J . И после отжигался 60 минут при температуре 900°J . По результатам анализа был получен элементный состав в атомарных и весовых процентах.

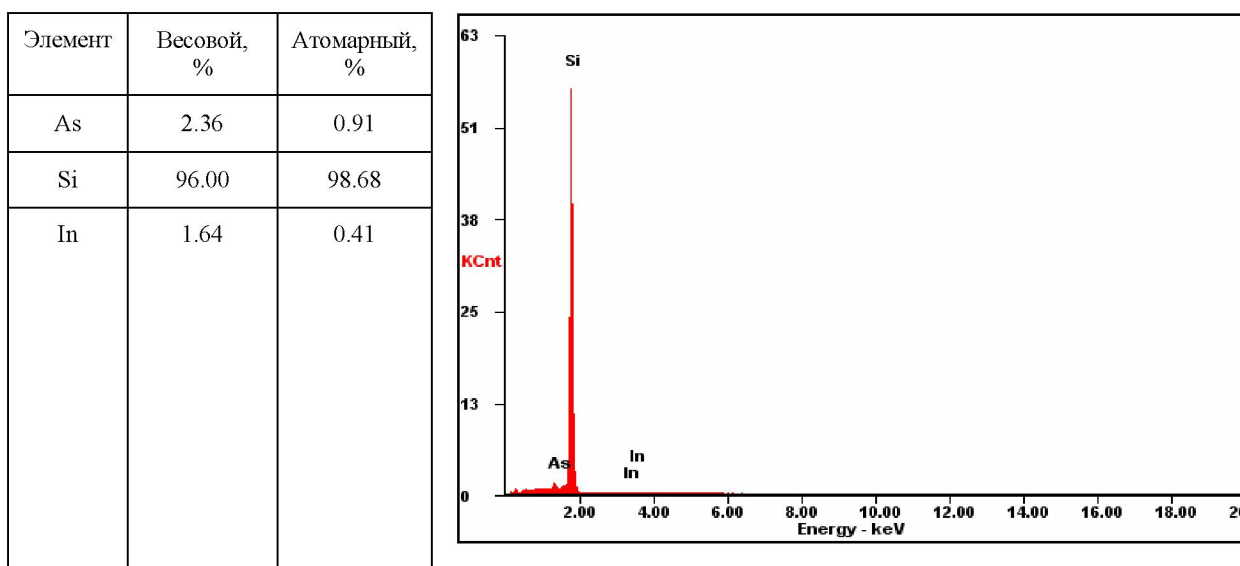


Рисунок 2 –энергодисперсионный анализ монокристаллического Si имплантированного ионами As (170 кэВ, $3,2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$) и In (250 кэВ, $2,8 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$)

Сделаны микрофотографии образцов с помощью сканирующего электронного микроскопа.

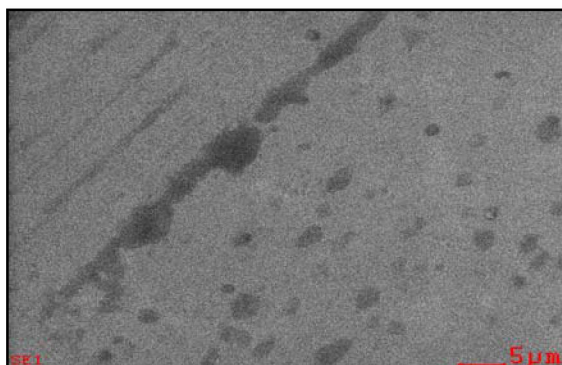
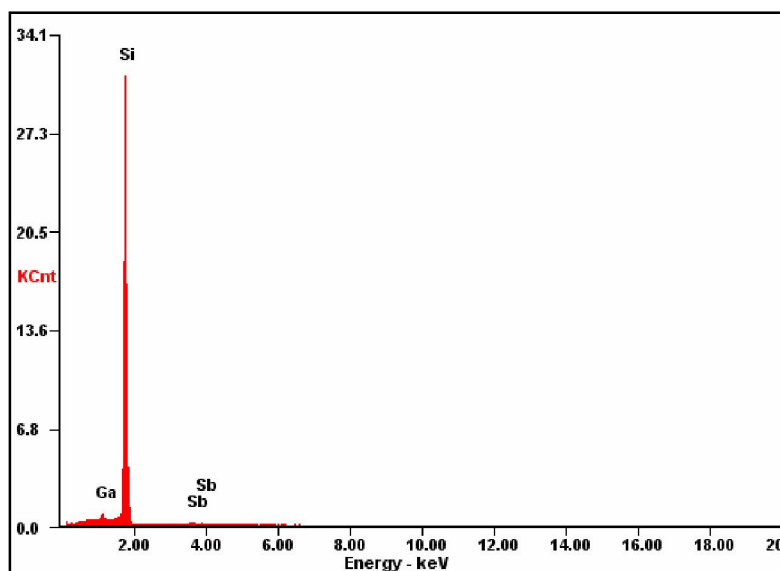


Рисунок 3 – микрофотография монокристаллического кремния имплантированного ионами As (170 кэВ, $3,2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$) и In (250 кэВ, $2,8 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$)

Второй образец, который был исследован, монокристаллический кремний имплантированный ионами Ga (250 кэВ, $3,5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$) и Sb (350 кэВ, $3,5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$) в температуре 500°C и отжигался 30 минут при температуре 1100°C . На рисунке 4 и 5 показаны энергодисперсионный анализ и микрофотография образца.



Элемент	Весовой, %	Атомарный, %
Ga	2.01	0.85
Si	94.17	98.24
Sb	3.82	0.92

Рисунок 4 – Энергодисперсионный анализ монокристаллического Si имплантированный ионами Ga (250 кэВ, $3,5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$) и Sb (350 кэВ, $3,5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$)

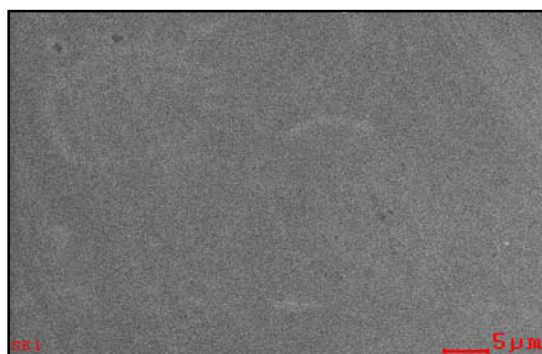


Рисунок 5 – Микрофотография монокристаллического кремния имплантированный ионами Ga (250 кэВ, $3,5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$) и Sb (350 кэВ, $3,5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$)

Третий образец монокристаллический кремний имплантированный ионами Sb (350 кэВ, $3,2 \cdot 10^{16} \text{см}^{-2}$) и In (350 кэВ, $2,8 \cdot 10^{16} \text{см}^{-2}$) в температуре 500°C и после отжигался 30 минут при температуре 1100°C .

Элемент	Весовой, %	Атомарный, %
Si	93.03	98.24
In	4.06	1.05
Sb	2.91	0.71

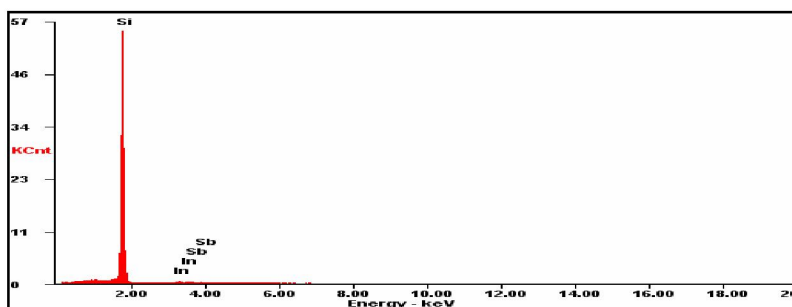


Рисунок 6 – Энергодисперсионный анализ монокристаллического Si имплантированный ионами Sb (350 кэВ, $3,2 \cdot 10^{16} \text{см}^{-2}$) и In (350 кэВ, $2,8 \cdot 10^{16} \text{см}^{-2}$)

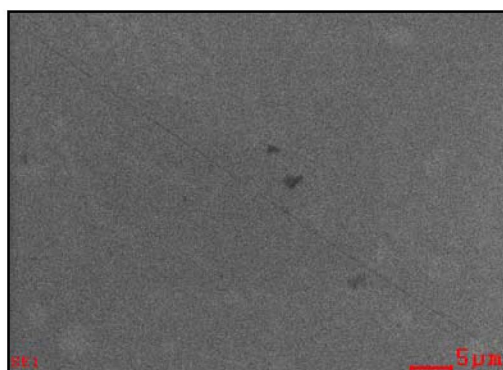


Рисунок 7 – Микрофотография монокристаллического Si имплантированный ионами Sb (350 кэВ, $3,2 \cdot 10^{16} \text{см}^{-2}$) и In (350 кэВ, $2,8 \cdot 10^{16} \text{см}^{-2}$)

Следующий образец монокристаллический Si имплантированный ионами Ga (250 кэВ, $3,2 \cdot 10^{16} \text{см}^{-2}$) и Sb (350 кэВ, $2,8 \cdot 10^{16} \text{см}^{-2}$) в температуре 500°C и после отжигался 30 минут при температуре 1100°C . На рисунке 8 и 9 показаны энергодисперсионный анализ и микрофотография образца.

Элемент	Весовой, %	Атомарный, %
Ga	1.71	0.72
Si	94.09	98.27
Sb	4.20	1.01

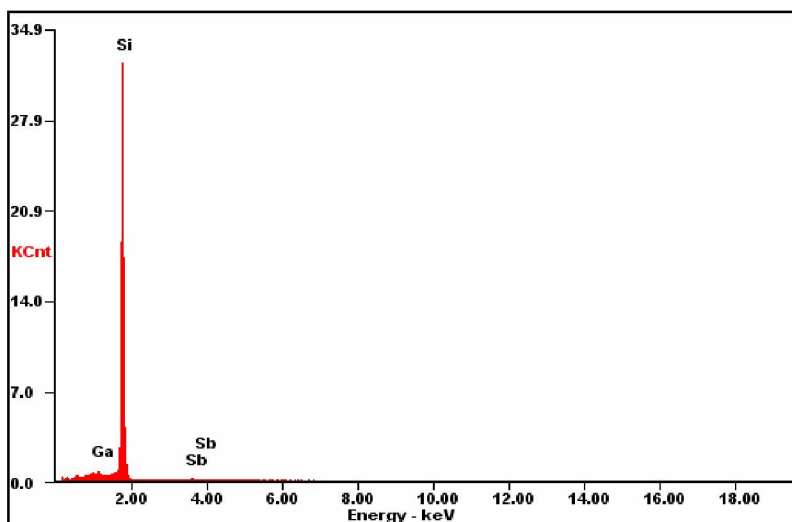


Рисунок 8 – Энергодисперсионный анализ монокристаллического Si имплантированный ионами Ga (250 кэВ, $3,2 \cdot 10^{16} \text{см}^{-2}$) и Sb (350 кэВ, $2,8 \cdot 10^{16} \text{см}^{-2}$)

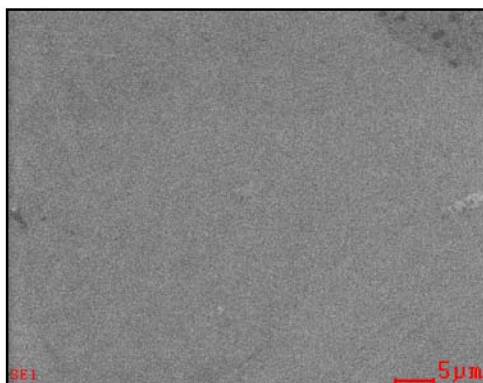
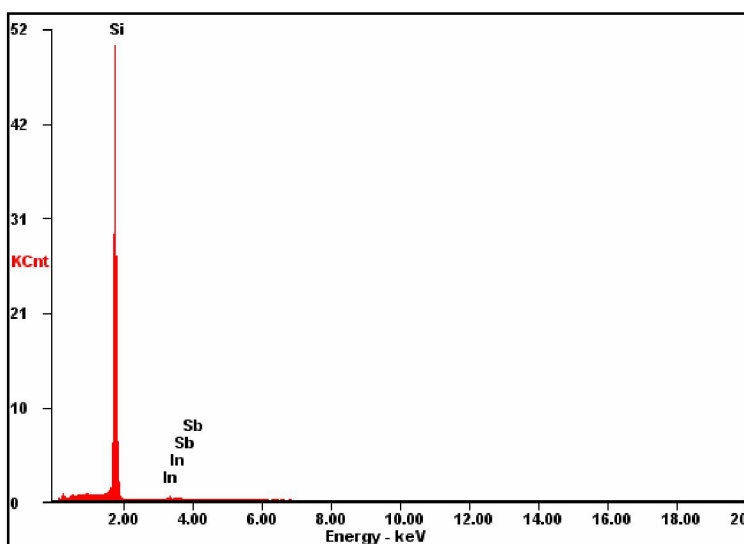


Рисунок 9 – Микрофотография монокристаллического Si имплантированный ионами Ga (250 кэВ, $3,2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$) и Sb (350 кэВ, $2,8 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$)

Последний образец – монокристаллический кремний, имплантированный ионами Sb (350 кэВ, $3,2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$) и In (350 кэВ, $2,8 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$) при температуре 500°C и после не отжигался. На рисунках 10 и 11 показаны энергодисперсионный анализ и микрофотография образца. По результатам анализа мы точно определяем концентрацию внедренных элементов которые показаны в точке в атомарных и весовых процентах.



Элемент	Весовой, %	Атомарный, %
Si	92.73	98.17
In	4.01	1.04
Sb	3.25	0.79

Рисунок 10 – Энергодисперсионный анализ монокристаллического Si имплантированный ионами Sb (350 кэВ, $3,2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$) и In (350 кэВ, $2,8 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$)

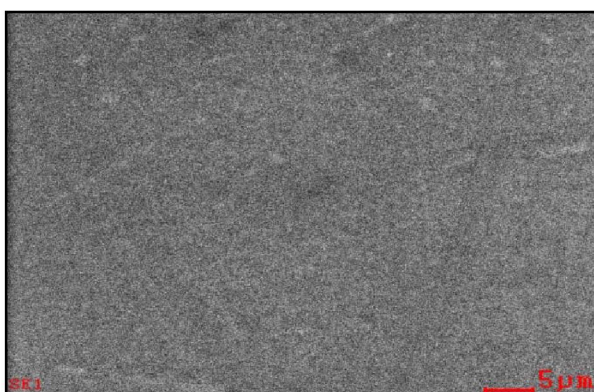
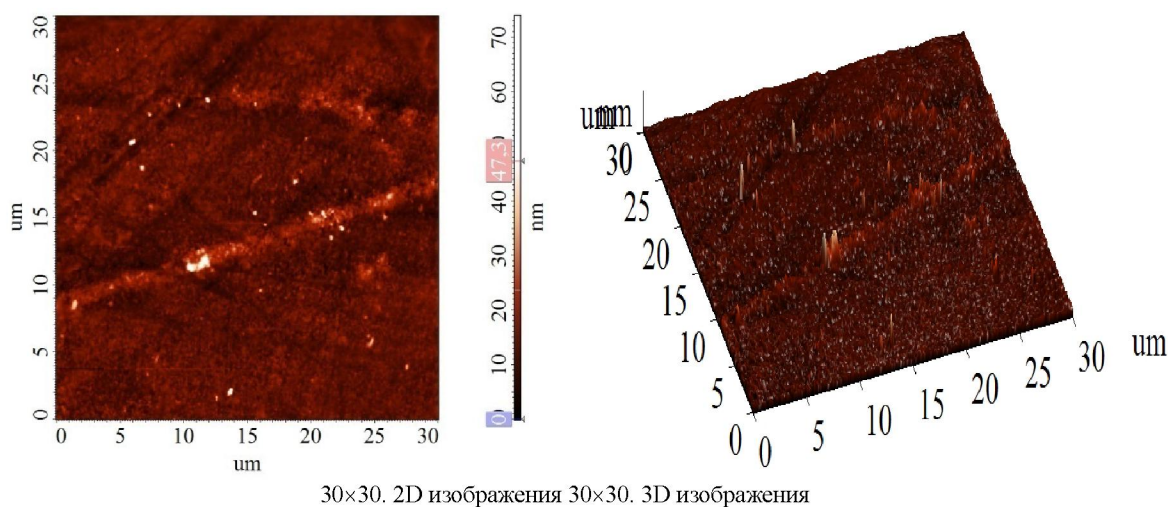


Рисунок 11 – Микрофотография монокристаллического Si имплантированный ионами Sb (350 кэВ, $3,2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$) и In (350 кэВ, $2,8 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$)

С помощью атомно- силового микроскопа был сделан снимок монокристаллического кремния имплантированного ионами Sb (350 кэВ , $3,2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$) и In (350 кэВ , $2,8 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$) который отжигался 30 минут при температуре 1100°C . По изображениям можно увидеть морфологию поверхности образца.



30×30. 2D изображения 30×30. 3D изображения
Рисунок 12 – Изображения АСМ монокристаллического Si имплантированный ионами Sb (350 кэВ , $3,2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$) и In (350 кэВ , $2,8 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$)

Заключение. С помощью сканирующего электронного и атомно-силового микроскопов был сделан энергодисперсионный анализ имплантированных образцов и была выявлена концентрация внедренных элементов в монокристаллическом кремний. По результатам энергодисперсионного анализа был получен элементный состав в атомарных и весовых процентах. Определен точный состав и концентрации ионов III и V групп Периодической системы элементов внедренных в монокристаллический кремний, что соответствует оптимально выбранному режиму высокодозной имплантации (дозы имплантации ионов выбирались для получения концентраций в максимуме профилей порядка 4-6 ат.%).

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Hirschman K. D, Tysbekov L., Duttagupta S.P., Fauchet P.M. Silicon-based visible light-emitting devices integrated into microelectronic circuits// Nature - 1996. - V.384. – P. 338.
- 2 Luo X., Zhang S. B., and Wei.Chemical S. H. design of direct-gap light-emitting silicon *Phys. Rev. Lett.*, vol. 89, no. 7, p. 076 802-1, Aug.2002.
- 3 Тетельбаум Д.И. (НИФТИННГУ) Нанокристаллический кремний

REFERENCES

- 1 Hirschman KD, Tysbekov L., Duttagupta SP, Fauchet PM Silicon-based visible light-emitting devices integrated into microelectronic circuits // Nature - 1996. - V.384. - P. 338.
- 2 Luo X., Zhang SB, and Wei.Chemical SH design of direct-gap light-emitting silicon *Phys. Rev. Lett.*, Vol. 89, no. 7, p. 076 802-1, Aug.2002.
- 3 Tetelbaum DI (NIFTINNGU) Nanocrystalicheski kremnyi.

Резюме

Г. А. Исмаилова, Г. Ш. Яр-Мұхамедова, Н. Б. Исембердиева, Ф. Б. Жүсіпбекова,
А. Г. Қалиева, А. Нұрғалиева, М. Көшімова, А. А. Мархабаева

(Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан)

«НАНОКРИСТАЛЛ $A^3B^5 + Si$ » БЕТТІК ҚАБАТ МОРФОЛОГИЯСЫН СКАНИРЛЕУШІ
ЗОНДТЫ МИКРОСКОП ӨДІСІМЕН ЗЕРТТЕУ

Мақалада «нанокристалл $A^3B^5 + Si$ » элементтік құрамы атомарлық және мөлшер пайызында табылды. Монокристалды кремнийге енгізілген элементтердің мерзімдік жүйесінің III және IV топ иондарының нақты құрамы мен шоғырлануы анықталған.

Тірек сөздер: монокристалды кремний, жарық шығаратын материалдар, ионды имплантация, СЗМ әдісі.

Summary

*G. A. Ismailova, G. Sh. Yar-Mukhamedova, N. B. Iseberdieva, F. B. Zhusipbekova,
A. G. Kalyieva, A. Nurgalieva, M. Koshimova, A. A. Marhabaeva*

(Kazakh national university named after Al-Farabi, Almaty, Kazakhstan)

RESEARCH SURFACE MORPHOLOGY «NANOCRYSTALS A₃B₅ + Si» BY METHODS SCANNING PROBE MICROSCOPY.

We have found the elemental composition of «nanocrystals A₃B₅ + Si» in atomic and weight percent. Detected exact composition and concentration of ions of the groups III and V of the periodic system of elements are embedded in the monocrystalline silicon

Keywords: Monocrystall silicon, light-emitting materials, ion implantation, SPM.