

12-15-2019

FEATURES OF MAGNETIC PROPERTIES OF SILICON WITH MAGNETIC NANOCCLUSERS

Giyos Haydarovich Movlonov

Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan, giyosiddin@yandex.ru

Sobirjon Boltayevich Isomov

Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan

Shakhboz Nizom ugli Ibodullayev

Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan, ibodullayev92@list.ru

Shahobiddin Boytemir ugli Shergoziyev

Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan

Follow this and additional works at: <https://uzjournals.edu.uz/semiconductors>

Recommended Citation

Movlonov, Giyos Haydarovich; Isomov, Sobirjon Boltayevich; Ibodullayev, Shakhboz Nizom ugli; and Shergoziyev, Shahobiddin Boytemir ugli (2019) "FEATURES OF MAGNETIC PROPERTIES OF SILICON WITH MAGNETIC NANOCCLUSERS," *Euroasian Journal of Semiconductors Science and Engineering*: Vol. 1 : Iss. 6 , Article 2.

Available at: <https://uzjournals.edu.uz/semiconductors/vol1/iss6/2>

This Article is brought to you for free and open access by 2030 Uzbekistan Research Online. It has been accepted for inclusion in Euroasian Journal of Semiconductors Science and Engineering by an authorized editor of 2030 Uzbekistan Research Online. For more information, please contact sh.erkinov@edu.uz.

УДК 621.315.592

ОСОБЕННОСТИ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ КРЕМНИЯ С МАГНИТНЫМИ НАНОКЛАСТЕРАМИ

Мовлонов Гиес Хайдарович, д.ф.-м.н., профессор Ташкентского государственного технического университета, Ташкент, Узбекистан. e-mail: giyosiddin@yandex.ru

Исомов Собиржон Болтаевич, к.ф.-м.н., доцент Ташкентского государственного технического университета, Узбекистан.

*Ибодуллаев Шахбоз Низом угли**, докторант Ташкентского государственного технического университета, Ташкент, Узбекистан. e-mail ibodullayev92@list.ru

Шергозиёв Шахобиддин Бойтемир угли, докторант Ташкентского государственного технического университета, Ташкент, Узбекистан.

Аннотация: Установлены уникальные магнитные свойства кремния содержащего нанокластеры образованные примесными атомами марганца и аномально высокое отрицательное магнитосопротивление при комнатной температуре, отсутствующее в обычных легированных полупроводниковых материалах.

Ключевые слова: кремний, нанокластеры марганца, диффузия, электрические параметры, магнитосопротивление.

FEATURES OF MAGNETIC PROPERTIES OF SILICON WITH MAGNETIC NANOCCLUSERS

Movlonov Giyos Haydarovich, Dr. of Phys. and Math. Sc., Professor of Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan. e-mail: giyosiddin@yandex.ru

Isomov Sobirjon Boltayevich, Ph.D. Associate Professor of Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan.

*Ibodullayev Shakhboz Nizom ugli**, Basic doctoral student, Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan. e-mail ibodullayev92@list.ru

Shergoziyev Shahobiddin Boytemir ugli, Basic doctoral student of Tashkent State Technical University, Tashkent, Uzbekistan.

Abstract. The unique magnetic properties of silicon containing nanoclusters formed by impurity manganese atoms and anomalously high negative magnetoresistance at room temperature, which are absent in conventional doped semiconductor materials, have been established.

Keywords: silicon, manganese clusters, diffusion of the electrical parameters, the magnetoresistance.

1. Введение

В настоящее время магнитосопротивление (МС) т.е. отрицательное магнитосопротивление (ОМС) и положительное магнитосопротивление полупроводниках во многих материалах изучены достаточно хорошо [1-4]. Особенно интенсивно ведутся

исследования гигантского отрицательного магнитосопротивления в различных магнитных соединенных и тонкопленочных полупроводниках [5-8]. Хотя эффект МС наблюдался как в элементарных полупроводниках, так и в полупроводниковых соединениях (таб. 1), но значения МС в данных материалах имеют весьма небольшие значения при достаточно жестких условиях:

- температура должна быть в основном низкой, порядка $T=4\div 250$ К.
- с ростом температуры значение МС существенно уменьшается, поэтому можно сказать, что наблюдаемое ОМС является низкотемпературным эффектом.
- МС наблюдается при достаточно больших магнитных полях.

В литературе также отсутствуют данные о стабильности и управляемости параметров ОМС в исследованных материалах. В этом плане очень большой интерес представляет обнаружение ОМС в кремнии с нанокластерами атомов марганца, управление его параметрами, а самое главное получение ОМС при более высоких температурах.

Таблица № .1

**Список элементарных полупроводников и соединений,
где наблюдается ОМС**

| № | Полупроводники | Магнитное поле, Тл | Температура, К | $\Delta\rho/\rho$, % |
|----|---|--------------------|----------------|-----------------------|
| 1 | $Al_{0,5}Pd_{0,15}Mn_{0,15}B_{0,2}$ | 5 | 4.2 | -300 |
| 2 | $La_{0,7}Ca_{0,3}MnO_3$ | 6 | 150 | 200 |
| 3 | $La_{0,75}Ca_{0,25}MnO_3$ | 6 | 250 | 80 |
| 4 | $Gd_{13}Si_{87}$ | 6 | 4.2 | - 60 |
| 5 | p-Ge / $Ge_{1-x}Si_x$ ($x = 0.03$) | 0.3 | (0.1 ÷ 20.0) | -250 |
| 6 | $La_{0,78}Sr_{0,22}MnO_3$ | 11 | 330 К | -60 |
| 7 | $La_{0,7}Ca_{0,3}MnO_3/SrTiO_3(100)$ | 0,11 | 80 | 1500 |
| 8 | $Bi_{1,7}Pb_{0,4}Sr_2Ca_2Cu_3O_x$ ($d\sim 0.05-0.065$ μm) | 0,1 | 77 | -(7÷15) |
| 9 | $MnFe_2O_4$ | 1 | 80 | -600 |
| 10 | Fe/SiO ₂ | 1 | 77 | - 5 |
| 11 | Co/ SiO ₂ | 1 | 77 | -4.5 |
| 12 | Si с нанокластерами атомов марганца | 2 | 300 | -500 |

В данной работе приводятся результаты исследования магнитосопротивления в кремнии с нанокластерами, а также без нанокластеров, особенности ОМС в этих материалах и его зависимость от магнитного поля и температуры.

2. Методика эксперимента

Разработанная нами низкотемпературная диффузионная технология легирования кремния [9] позволяет не только формировать нанокластеры, состоящих из четырех атомов марганца находящихся в ближайших эквивалентных междоузлиях в решетке кремния,

вокруг отрицательно заряженного атома бора, но и обеспечить максимальное участие введенных примесных атомов в формировании нанокластеров [10-13]. При этом в качестве исходного материала был выбран кремний p -типа проводимости с концентрацией бора $N_B \geq 1/2 N_{Mn}$. Данные условия не только обеспечили ионизацию всех введенных атомов марганца в виде Mn^{++} (атомы марганца в кремнии являются донорами и создают два энергетических уровня в запрещенной зоне), но и полученные образцы кремния остались p -типом с достаточно низкой концентрации дырок $p = (4 \div 5) \cdot 10^{12} \text{ см}^{-3}$. В этих условиях нанокластеры состоящие из четырех атомов марганца в междоузлиях в решетке кремния вокруг атома бора, действуют как магнитные кластеры $[(Mn^{++})_4 B^-]^{+7}$.

Формирование магнитных кластеров было доказано исследованием состояния атомов марганца методом ЭПР (рис.1). Предполагаемая структура нанокластера представлена на рис.2.

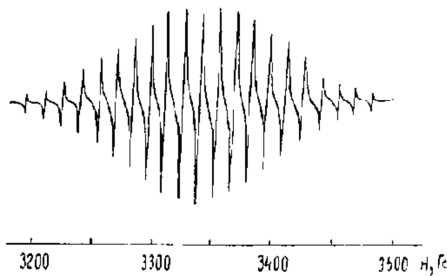


Рис. 1. Спектр ЭПР нанокластера, состоящего из четырех атомов марганца в кремнии.

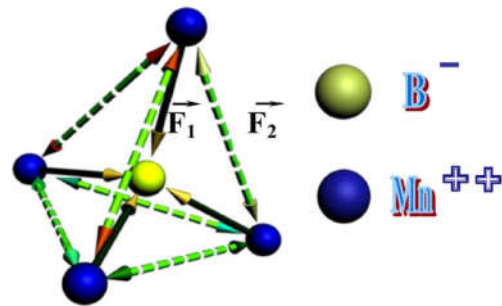


Рис. 2. Структура Mn_4B в решетке кремния.

3. Результаты и их обсуждение

Электрические свойства полученных образцов исследовались с помощью установки для изучения эффекта Холла. В таблице № 2 приведены основные электрические параметры полученных образцов кремния с нанокластерами при комнатной температуре.

Таблица № 2.

Основные параметры исследуемых образцов

| ρ , Ом·см | μ , см ² /В·с | N , см ⁻³ | $\Delta\rho/\rho$, % 100 В/см | Тип проводимости |
|-------------------|---------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|---------------------|
| $2.9 \cdot 10^3$ | 400 | $6.25 \cdot 10^{12}$ | -138% | P |
| $5.5 \cdot 10^3$ | 72 | $1.5 \cdot 10^{13}$ | -164% | P |
| $5.6 \cdot 10^3$ | 155 | $7 \cdot 10^{12}$ | -500% | P |
| $7.76 \cdot 10^3$ | 25 | $3.1 \cdot 10^{13}$ | -420% | P |
| $6.8 \cdot 10^4$ | 900 | $4.46 \cdot 10^{11}$ | 4% | N |
| $1 \cdot 10^5$ | 1200 | $5.16 \cdot 10^{11}$ | 4,5% | N |
| $1.8 \cdot 10^5$ | 1020 | $1.5 \cdot 10^{11}$ | 3% | N |
| $2 \cdot 10^5$ | 1150 | $6.25 \cdot 10^{10}$ | 5% | N |
| $2.5 \cdot 10^5$ | 980 | $1.35 \cdot 10^{11}$ | 3% | N |

Зависимость ОМС от напряженности магнитного поля в образцах $p\text{-Si}\langle\text{B},\text{Mn}\rangle$ с удельным сопротивлением $\rho=5,6\cdot 10^3$ Ом·см, полученных по новой технологии, в которых четко наблюдались нанокластеры, представлена на рис. 3 при $T=300$ К и $E=100$ В/см. Как видно из рисунка в образцах $p\text{-Si}\langle\text{B},\text{Mn}\rangle$ наблюдается эффект отрицательного магнитосопротивления (ОМС), значение которого растет с ростом магнитного поля [14-16]. Здесь значение ОМС, в отличие от кремния без нанокластеров с аналогичными параметрами, в 80÷90 раз больше и оно линейно зависит от магнитного поля.

Таким образом, нами однозначно установлено, что в образцах с нанокластерами наблюдается высокотемпературное аномально высокое ОМС. До настоящего времени такой эффект не только в кремнии, но и в других объемных полупроводниковых материалах не был обнаружен. Эти результаты показывают, что формирование нанокластеров атомов марганца в решетке кремния стимулирует эффект ОМС.

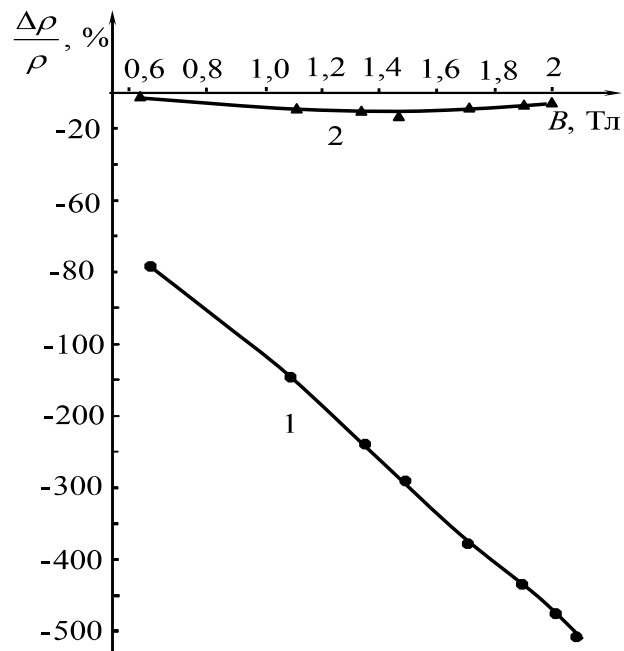


Рис. 3. Влияние магнитного поля при $T=300$ К и $E=100$ В/см на магнитосопротивление Si p -типа, где 1- кремний с нанокластерами, 2- кремний без нанокластеров.

Влияние магнитного поля при $T=300$ К и $E=100$ В/см на магнитосопротивление Si p -типа, где наблюдается максимальное значение ОМС при комнатной температуре, представлено на рис. 4. Видно, что с уменьшением температуры ОМС быстро увеличивается в пределах температуры от $T=380$ К до $T=235$ К и приобретает свое максимальное значение при температуре $T=235$ К [14-16].

При дальнейшем понижении температуры от $T=235$ К до $T=150$ К происходит уменьшение ОМС. При температуре $T=150$ К магнитосопротивление повторно меняет знак и переходит от ОМС к обычному ПМС. Из полученных результатов следует, что изменение $\Delta\rho/\rho(T)$ полностью повторяет зависимости, полученные в образцах с меньшей концентрацией нанокластеров [14-16].

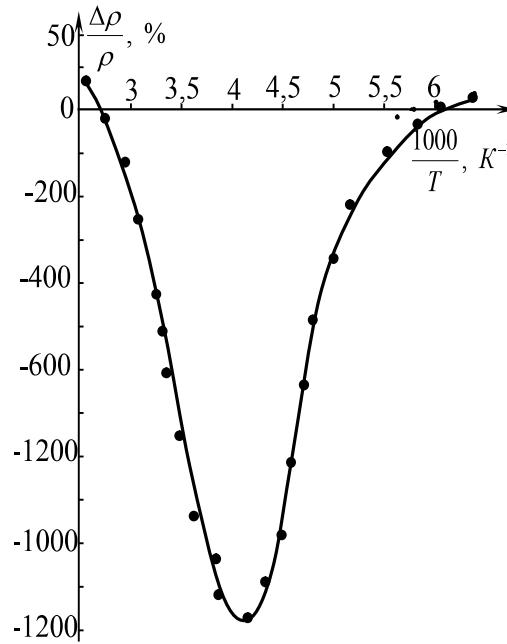


Рис. 4. Влияние температуры на ОМС в $Si<B, Mn>$ p - типа имеющем удельное сопротивление $5,6 \cdot 10^3 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ при $E=100 \text{ В/см}$ и $B=2 \text{ Тл}$

Отметим, что форма $\Delta\rho/\rho(T)$ является одинаковой для всех образцов независимо от концентрации нанокластеров. Максимальное значение закономерности $\Delta\rho/\rho(T)$ получается при температуре T_m и она увеличивается с её ростом.

4. Заключение

Экспериментально установлено, что в отличие от других полупроводниковых материалов, в кремнии с нанокластерами отрицательное магнитосопротивление не увеличивается в области низких температур, а наоборот существенно уменьшается и переходит в положительное магнитосопротивление. Эти результаты с одной стороны доказывают, что действительно отрицательное магнитосопротивление в образцах $Si (Mn)_4$, является высокотемпературным эффектом, а с другой стороны показывают возможность двойной инверсии знака магнитосопротивления с изменением температуры. Разработка технологии формирования нанокластеров с определенной концентрацией и заданным распределением в кристаллической решетке полупроводника, позволит использовать полученный материал при изготовлении объемных интегральных микросхем.

References

1. Sergey V., Barabash and Stroud Negative magnetoresistance produced by hall fluctuations in a ferromagnetic domain structure. Applied. Physics. Letters. 2001. V. 79. N.7. pp. 979- 981.
2. Akinago H, Deboer J, Borghs G i dr. Otricatel'noe magnitosoprotivlenie v GaAs c magnitnymi nanoklasterami MnAs. Appl. Phys. leet. 1998. V. 72. N. 25. pp. 3368-3370.
3. Solin N.I., Romashev L.N., i dr. *Magnitorezistivnye svoistva nanostrukturirovannykh magnitnykh metallov, manganity i magnitnyh poluprovodnikov* [Magnetoresistive properties of

nanostructured magnetic metals, magnetic and magnetic semiconductors] *ZhTF* [Technical Physics Journal]. 2016. v. 86. n. 2. pp. 78-84.

4. Askerov B.M., Figarova S.R., Gusejnov G.I. Figarov V.R. *Magnitosoprotivlenie v sloistyx poluprovodnikakh pri rasseianii na ionakh primesi v parallel'nom magnitnom pole* [Magnetoresistance in layered semiconductors scattered by impurity ions in a parallel magnetic field]. *Semiconductors*. 2014. vol. 48. no. 6. pp. 768-773.

5. Ivanchik I.I., Khokhlov D.R., Morozov A.V., Terekhov A.A., Slyniko E.I., Slyniko V.I. Giant negative magnetoresistance effect in PbTe(Yb,Mn). *Phys.Rev.* 2000. B. 61. R14889.

6. Arapov Yu.G., Harus G.I., Kuznetsov O.A. Parabolic negative magnetoresistance in p-Ge/Ge_{1-x}Si_x heterostructures. *Semiconductors*. 1999. vol. 32. no. 9. pp. 1073-1075.

7. Nagaev Je.L. Manganity lantana i drugie magnitnye provodniki s gigantskom magnitosoprotivleniem. *Uspehi fizicheskikh Nauk* [Achievements in Physical Sciences]. Moscow, 1996. vol. 166. No. 8. pp. 833-857.

8. Hellman F., Tran M.Q., Gebala A.E. Metal-Insulator Transition and Giant Negative Magnetoresistance in Amorphous Magnetic Rare Earth Silicon Alloys. *Physical Review Letters*. 1996. vol. 77. no. 22. pp. 4652-4655.

9. B.A. Abdurahmanov, K.S. Ajupov, M.K. Bahadyrhanov, H.M. Iliev, D.T. Bobonov, N.F. Zikrillaev, Z.M. Saparnijazov, A. A. Toshev. *Nizkotemperaturnaya diffuziya primesei v kremnii* [Low-temperature diffusion of impurities in silicon]. *Doklady akademii nauk Respubliki Uzbekistan* [Reports of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan]. 2010 no. 4 str.32-36.

10. Ludwig G.W., Woodbury H.H., Carlson R.O. // *J.Phys.Chem. Sol.*, 1959. V.8. P.490.

11. Fistul' V.I., Kazakova V.M., Bobrikov Ju.A., Rjabcev A.V., Abdurahmanov K.P., Zajnabidinov S., Kamilov T.S., Utamuradova Sh.B.. // *FTP*. 1982. T. 16. V.5. S. 939-941.

12. Kreissl J., Gehlhoff W. // *phys.stat.sol.* 1988. V.145 (b). P. 609-616.

13. Bakhadyrkhanov M.K., Mavlonov G.Kh., Isamov S.B., Iliev Kh.M., Ayupov K.S., Saparniyazova Z.M., and Tachilin S.A.. *Transport Properties of Silicon Doped with Manganese via Low Temperature Diffusion // Inorganic Materials*, 2011, Vol. 47, No. 5, pp. 479-483. (№11 Springer, Impact Factor 0,62)

14. Bakhadyrkhanov M.K., Ayupov K.S., Mavlyanov G.Kh., Isamov S.B. Negative Magnetoresistance in Silicon with Manganese Atom Complexes [Mn]₄. *Semiconductors*, (2010) Vol. 44, No. 9, pp. 1145–1148.

15. Mavlonov G.H. *Upravlenie magnitnymi svojstvami kremnija s nanoklasternymi primesnyh atomov. Avtoreferat d.f.-m.n. (DSc).*- Tashkent. 2018. S. 58.

16. Bakhadyrkhanov M.K., Iliyev Kh.M., Mavlonov G.Kh., K. S. Ayupov, S. B. Isamov, and S. A. Tachilin. *Technical Physics*, 2019, Vol. 64, No. 3, pp. 385–388.