

## ЭЛЕКТРОНИКА

**ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ ДАТЧИКИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ  
 НА ОСНОВЕ СИЛЬНО КОМПЕНСИРОВАННОГО КРЕМНИЯ,  
 РАБОТАЮЩИЕ ПРИ НАЛИЧИИ ФОНОВОЙ ОСВЕЩЁННОСТИ**

*Саъдуллаев Алоvidдин Бобакулович*

*канд. физ.-мат. наук, доцент, Каршинский инженерно-экономический институт,  
 180100, Узбекистан, г. Карши, ул. Мустакиллик, дом 225.*

*Умиров Асрор Пардаевич*

*ассистент, кафедра электроэнергетики, энергетический  
 факультет, Каршинский инженерно-экономический институт,  
 180100, Узбекистан, г. Карши, ул. Мустакиллик, дом 225.*

**HIGHLY SENSITIVE MAGNETIC FIELD SENSORS BASED ON HIGHLY COMPENSATED  
 SILICON WORKING IN THE PRESENCE OF BACKGROUND ILLUMINATION**

*Aloviddin Sadullaev*

*Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Karshi Engineering and Economic Institute,  
 180100, Uzbekistan, Qureshi, 225 Mustaqillik shox ko'chasi,*

*Asror Umirov*

*Assistant, Department of Electric Power Engineering, Energy Faculty, Karshi Engineering and Economic Institute,  
 180100, Uzbekistan, Qarshi, 225 Mustaqillik shox ko'chasi,*

## АННОТАЦИЯ

В статье рассматривается исследование влияния концентрации электроактивных атомов компенсирующих примесей и интегральной освещённости на гальваномагнитные свойства кремния в условиях сильной компенсации. Установлена возможность управления магниточувствительности образцов  $p-Si \langle B, Mn \rangle$ , управляя концентрацией электроактивных атомов марганца и уровнем освещённости.

## ABSTRACT

In this paper, the effect of the concentration of electro active atomic compensating impurities and integral illumination on the galvanomagnetic properties of silicon under conditions of strong compensation is examined. The ability to control the magneto sensitivity of  $p-Si \langle B, Mn \rangle$  samples controlling the concentration of electro active manganese atoms and the illumination level is established.

**Ключевые слова:** сильнокомпенсированный кремний, отрицательное и положительное магнитосопротивление, магниточувствительность, уровень освещённости, концентрация компенсирующих примесей.

**Keywords:** strongly compensated silicon, negative and positive magneto resistance, magneto sensitivity, illumination level, concentration of compensating impurities.

Исследование влияния концентрации электроактивных компенсирующих примесей на фотоэлектрические и гальваномагнитные свойства кремния в условиях сильной компенсации представляет большой научный и практический интерес. Такие исследования не только позволяют управлять чувствительностью сильнокомпенсированных образцов к внешним воздействиям, но и позволяют создать новый класс более чувствительных фото- и магнитодатчиков на их основе. В отличие от обычных полупроводниковых материалов в компенсированном кремнии легированном марганцем в условиях сильной компенсации, где концентрация равновесных носителей

заряда  $n, p$  становится в сотни тысяч или миллионы раз меньше, чем концентрации ионизованных примесных атомов  $N_B^-, N_{Mn}^+$  в кристаллической решётке, система находится в крайне неравновесном состоянии. При этом воздействие малейших внешних факторов (температура, освещённость, магнитное поле и т.д.) приводит к существенному изменению условий взаимодействия компенсирующих примесей и носителей заряда. В результате наблюдаются новые физические явления, природа которых до конца ещё не изучены [1-2]. В исходных образцах  $Si \langle B \rangle$ , где концентрация исходного бора  $N_B \approx N_{Mn}$  приблизительно равна растворимости марганца в кремнии,

наблюдаемый эффект ещё более проявляется. Глубокой анализ литературных данных [3-4] показал, что гальваномагнитные свойства существующих магнитных полупроводниковых материалов практически не зависят от освещённости фонового света и длины волны.

В связи с этим целью данной работы являлось исследование влияния концентрации электроактивных компенсирующих атомов марганца на магнитосопротивление образцов и чувствительности магнитного поля при комнатной температуре.

Технология получения сильно компенсированного кремния с максимальной концентрацией электроактивных компенсирующих примесей с воспроизводимыми и стабильными параметрами является достаточно тонким и сложным процессом. В связи с этим для получения сильно компенсированных образцов  $p - Si < B, Mn >$  с необходимой концентрацией электроактивных компенсирующих примесей был использован в качестве исходного материала монокристаллический кремний  $p$ -типа с удельным сопротивлением  $\rho = 1 \text{ Ом} \cdot \text{см}; 10 \text{ Ом} \cdot \text{см}; 100 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ , где концентрация исходного бора отличается на 2 порядка.

Сильнокомпенсированные образцы  $Si < B, Mn >$  получают с помощью диффузионного легирования монокристаллического кремния примесями марганца. Диффузия примесей марганца осуществлялась из газовой фазы на основе разработанной нами технологии, позволяющей получить сильнокомпенсированный кремний с воспроизводимыми и стабильными параметрами. Для получения достоверных и воспроизводимых результатов в каждой партии при диффузии было использовано 10 образцов с одинаковыми геометрическими размерами. После диффузии марганца, нами получены сильнокомпенсированные образцы  $Si < B, Mn >$  с удельным сопротивлением  $\rho = 1 \cdot 10^2 \div 2 \cdot 10^5 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ , и различной концентрацией электроактивных компенсирующих примесей марганца  $p$  и  $n$  типа проводимости.

Исследования магнитосопротивления проводились стандартным методом при комнатной температуре в интервале напряжённости магнитного поля  $H=0 \div 20 \text{ кЭрс}$ .

Известно, что в компенсированных образцах  $Si < B, Mn >$  с ростом концентрации электроактивных атомов компенсирующих примесей марганца увеличивается удельное сопротивление материала за счёт компенсации атомов исходного бора. Поэтому для удобства на рисунке 1 представлено относительное изменение удельных сопротивлений, т.е. магнитосопротивление сильно компенсированных образцов  $Si < B, Mn >$  в зависимости от концентрации электроактивных атомов марганца при постоянной значении  $H=20 \text{ кЭрс}$  магнитного поля.

Как видно из рисунка, в перекомпенсированных образцах  $n - Si < B, Mn >$  независимо от концентрации электроактивных атомов марганца, наблюдается небольшое положительное магнитосопротивление, что также имеет место в контрольных некомпенсированных материалах (рис.1. крив.1). В образцах

$p - Si < B, Mn >$  с удельным сопротивлением  $\rho \approx 10^2 \text{ Ом} \cdot \text{см}$  за счёт действия магнитного поля с напряжённостью  $H=20 \text{ кЭрс}$  наблюдается небольшое положительное магнитосопротивление. С ростом степени компенсации, т.е. концентрации электроактивных атомов марганца значение положительного магнитосопротивления уменьшается и начиная с концентрации электроактивных атомов соответствующей удельному сопротивлению  $\rho \approx 5 \cdot 10^2 \text{ Ом} \cdot \text{см}$  имеет место отрицательное магнитосопротивление.

Результаты исследования показали, что с ростом концентрации электроактивных атомов марганца значение отрицательного магнитосопротивления увеличивается и достигает своего максимального значения в образцах с удельным сопротивлением  $\rho \approx (5 \div 6) \cdot 10^3 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ , а дальнейшее увеличение концентрации электроактивных атомов марганца приводит к уменьшению значения отрицательного магнитосопротивления. Начиная с концентрации электроактивных атомов марганца соответствующей удельному сопротивлению  $\rho \approx 2 \cdot 10^4 \text{ Ом} \cdot \text{см}$  опять наблюдается положительное магнитосопротивление (рис.1 крив.1).

Из полученных результатов исследование следует, что с изменением концентрации электроактивных компенсирующих примесей марганца в образцах  $p - Si < B, Mn >$  не только можно управлять значениями, но и знаком магнитосопротивления. Из рисунка видно, что максимальное значение положительного магнитосопротивления при напряжённости магнитного поля  $H=20 \text{ кЭрс}$  наблюдается в образцах  $p - Si < B, Mn >$  полученных на основе исходного материала КДБ-10, где максимальная концентрация электроактивных атомов марганца достигла до  $n_{Mn} \approx 2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$  (рис.1 крив.2).

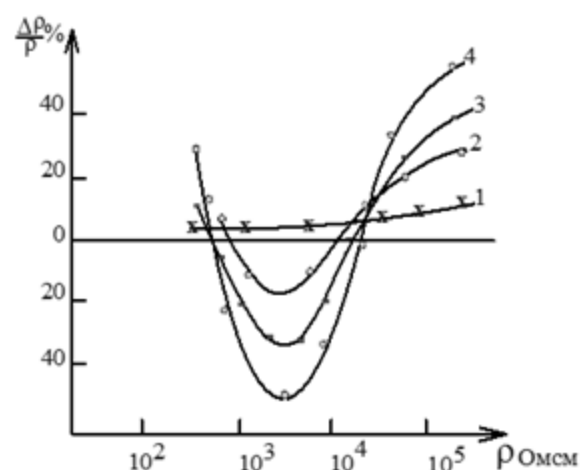


Рисунок 1. Зависимость изменения магнитосопротивления от удельного сопротивления материала

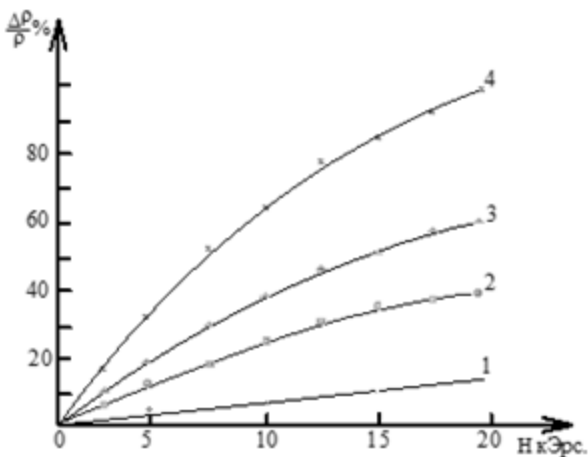
1. В образцах  $n - Si < B, Mn >$ ;
2. В образцах  $p - Si < B, Mn >$  полученных исходного материала КДБ-100;

3. В образцах  $p - Si < B, Mn >$  полученных исходного материала КДБ-10;

4. В образцах  $p - Si < B, Mn >$  полученных исходного материала КДБ-1.

Известно, что в сильнокомпенсированных образцах  $p - Si < B, Mn >$  с одинаковыми удельными сопротивлениями  $\rho \approx 2 \cdot 10^5 \text{ Ом} \cdot \text{см}$  полученных на основе исходного материала КДБ-100; КДБ-10 и КДБ-1 концентрация электроактивных компенсирующих примесей марганца соответственно составляет  $n_{Mn} \approx 10^{14} \text{ см}^{-3}$ ,  $n_{Mn} \approx 10^{15} \text{ см}^{-3}$  и  $n_{Mn} \approx 10^{16} \text{ см}^{-3}$ , т.е. отличается на 2 порядка.

Результаты исследования влияния концентрации электроактивных атомов марганца на магнитосопротивление в образцах  $p - Si < B, Mn >$  полученных на основе исходного материала КДБ-100, КДБ-10 и КДБ-1 показали, что характер изменения магнитосопротивления при постоянном значении напряжённости магнитного поля  $H=20 \text{ кЭрс.}$  остаётся неизменным, но по численным значениям сильно отличается (рис.1.крив.2,3,4), а максимальное значение положительного магнитосопротивления наблюдается в образцах с удельным сопротивлением  $\rho \approx 2 \cdot 10^5 \text{ Ом} \cdot \text{см}$  полученных на основе исходного материала КДБ-1. С учётом полученных экспериментальных результатов, нами было исследовано влияние фоновой освещённости на магнитосопротивление в широком интервале напряжённости магнитного поля на специально разработанной установке, интенсивность фонового света которого управляется с помощью специальных металлических сеток.



**Рисунок 2. Зависимость изменения магнитосопротивления от напряжённости магнитного поля в образцах  $p - Si < B, Mn >$  с максимальной концентрации  $n_{Mn} \approx 10^{16} \text{ см}^{-3}$  электроактивных атомов марганца при различных уровнях фоновой освещённости**

1.  $n - Si < B, Mn >$ ; 2.  $p - Si < B, Mn >$ ,  $I = 5 \text{ Лк}$ ;

3.  $p - Si < B, Mn >$ ,  $I = 10 \text{ Лк}$ ; 4.  $p - Si < B, Mn >$ ,  $I = 20 \text{ Лк}$ .

Результаты исследования показали, что в образцах  $p - Si < B, Mn >$  с максимальной концентрацией электроактивных атомов марганца  $n_{Mn} \approx 10^{16} \text{ см}^{-3}$  при комнатной температуре  $T=300 \text{ К}$  обладают аномально большим положительным магнитосопротивлением  $\frac{\Delta\rho}{\rho} \approx 80\%$ . На рис.2 представлена зависимость положительного магнитосопротивления сильнокомпенсированных образцов  $p - Si < B, Mn >$  с максимальной концентрацией электроактивных атомов марганца от напряжённости магнитного поля при различных уровнях фоновой освещённости. Как видно из рисунка (рис.2, крив.2,3,4) значение положительного магнитосопротивления в одинаковых напряженностях магнитного поля при различных уровнях фоновой освещённости отличается почти в 4 раза.

Полученные результаты исследования показали, что сильнокомпенсированный кремний легированный марганцем с максимальной концентрацией электроактивных атомов обладает уникальными свойствами, т.е. имеет возможность управления как положительного так и отрицательного магнитосопротивления с помощью фонового освещения даже при комнатной температуре  $T=300 \text{ К}$ . Полученные нами результаты исследования дают возможность создать новое поколение датчиков магнитного поля высокой чувствительности, работающие при наличии фонового света при температуре  $T=300 \text{ К}$ .

**Список литературы:**

1. Бахадирханов М.К., Зикриллаев Н.Ф., и др. Спектральная область существования автоколебания тока в кремнии легированном марганцем. ЖТФ. 2006, т.76, вып.9, стр. 128-129.
2. Бахадирханов М.К., Валиев С.А., Насриддинов С.С., Эгамов У. Особенности термических свойств сильно-компенсированного  $Si < B, Mn >$ . Неорганические материалы. Т.45, №11, Ноябрь, 2009, стр.1291-1293
3. Борисенко И.В., Овсянников Г.А. Магнитосопротивление и проводимость бикристаллических из магнитиков. ФТТ, 2009, т.51, вып. 2, стр. 56-64.
4. Демидов В.В., Борисенко И.В., и др. Магнитная анизатропия напряжённых эпитаксиальных магнитных плёнок. ЖЭТФ, 2011, №139, стр.943-945.
5. Овсянников Г.А., Петржик А.М., и др. Магнитнотранспортные характеристики напряжённых эпитаксиальных магнитных плёнок. ЖЭТФ, 2009, №135, стр.56-64.