

INFLUENCE OF THE CONCENTRATION OF NANOCLUSTERS OF IMPURABLE MANGANESE ATOMS ON THE PARAMETERS OF AUTO-OSCILLATION OF THE CURRENT

Sadullaev A.B.¹, Umirov A.P.², Bobakulov F.A.³ (Republic of Uzbekistan)
Email: Sadullaev448@scientifictext.ru

¹Sadullaev Aloviddin Bobakulovich - Candidate of Physics and Mathematics, Associate Professor;

²Umirov Asror Paradaevich - Assistant,
DEPARTMENT OF ELECTRIC POWER ENGINEERING;

³Bobakulov Farrukh Aloviddin ugli – Student,
DIRECTION: HEAT POWER ENGINEERING,
KARSHI ENGINEERING AND ECONOMIC INSTITUTE,
KARSHI, REPUBLIC OF UZBEKISTAN

Abstract: the article presents the results of a study of the effect of the concentration of nanoclusters of manganese impurities on the conditions of excitation and the parameters of the current self-oscillation in silicon under conditions of strong compensation. The optimal conditions for the excitation of stable current self-oscillations of the type of temperature-electric instability with specified physical parameters are determined. The possibilities of creating a new generation of highly sensitive multifunctional sensors of physical quantities based on highly compensated silicon with manganese nanoclusters are shown.

Keywords: highly compensated silicon, nanoclusters, self-oscillations of current, photosensitivity, spectral region.

ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ НАНОКЛАСТЕРОВ ПРИМЕСНЫХ АТОМОВ МАРГАНЦА НА ПАРАМЕТРЫ АВТОКОЛЕБАНИЯ ТОКА

Саъдуллаев А.Б.¹, Умиров А.П.², Бобакулов Ф.А.³ (Республика Узбекистан)

¹Саъдуллаев Аловиддин Бобакулович - кандидат физико-математических наук, доцент;

²Умиров Асрор Пардаевич – ассистент,
кафедра электроэнергетики;

³Бобакулов Фаррух Аловиддин угли – студент,
направление: теплоэнергетика,
Каршинский инженерно-экономический институт,
г. Карши, Республика Узбекистан

Аннотация: в статье изложены результаты исследования влияния концентрации нанокластеров примесей марганца на условия возбуждения и параметров автоколебания тока в кремнии в условиях сильной компенсации. Определены оптимальные условия возбуждения стабильных автоколебаний тока типа температурно-электрической неустойчивости с заданными физическими параметрами. Показаны возможности создания нового поколения высокочувствительных многофункциональных датчиков физических величин на основе сильнокомпенсированного кремния с нанокластерами марганца.

Ключевые слова: сильнокомпенсированный кремний, нанокластеры, автоколебания тока, фоточувствительность, спектральная область.

УДК 662.472

Введение.

Исследование фото и термоэлектрических свойств кремния с различными концентрациями нанокластеров примесей марганца в условиях сильной компенсации представляет большой научный и практический интерес. Такие исследования не только позволяют управлять формой и параметрами автоколебаний тока типа температурно-электрической неустойчивости (ТЭН), но и создать новый класс более чувствительных функциональных приборов на их основе.

Анализ опубликованных экспериментальных данных авторов [1, 2, 3] показали, что кремний с многозарядными нанокластерами примесных атомов марганца обладает уникальными электрофизическими свойствами, существенно расширенной областью температурной и спектральной фоточувствительности, а также показаны возможности создания принципиально новых классов электронных приборов на основе кремния с нанокластерами марганца [4, 5].

Объект исследования.

В данной работе объектом исследования является сильнокомпенсированный кремний с нанокластерами марганца. Для исследования в качестве исходного материала был выбран монокристаллический кремний р-типа марки КДБ с удельными сопротивлениями $\rho = 1; 10; 100; 200$ Омсм, где концентрация бора составляла $N_B = 1,3 \cdot 10^{16}; 1,2 \cdot 10^{15}; 1,4 \cdot 10^{14}; 7 \cdot 10^{13}$ см⁻³.

В качестве компенсирующих примесей был выбран марганец, так как марганец химически активно взаимодействует с другими дефектами кристаллической решётки, а также нами хорошо отработана термодиффузионная технология получения сильнокомпенсированного кремния легированного марганцем с заданными и воспроизводимыми параметрами. Для получения сильнокомпенсированного кремния с различной концентрацией нанокластеров, диффузия марганца производилась из газовой фазы в специальных вакуумированных кварцевых ампулах, при этом в каждую ампулу было помещено по 10

образцов исходного материала, чтобы обеспечить одинаковые условия легирования и скорости охлаждения. После диффузии марганца, были получены образцы сильно компенсированного кремния с объемными нанокластерами, концентрация которого составляла $N_{Mn} = 2 \cdot 10^{16}$; $1,5 \cdot 10^{15}$; $1,8 \cdot 10^{14}$; $8 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$.

Методы исследования

Электрофизические и фотоэлектрические свойства кремния с нанокластерами марганца изучались методом эффекта Холла и на установке ИКС-21 снабженной специальным криостатом, позволяющей исследовать спектральную зависимость фотопроводимости в широком интервале температур, электрического поля, различной интенсивности фонового и инфракрасного монохроматического освещения.

Результаты эксперимента и их обсуждение.

Результаты исследований показали, что в образцах с нанокластерами примесей марганца, где концентрация $N_{Mn} < 10^{14} \text{ см}^{-3}$ не наблюдаются автоколебания тока типа ТЭН.

Показано, что максимальная концентрация нанокластеров примесей марганца в кремнии могут быть достигнуть до значения $N_{Mn} < 2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$, которого ограничивается с предельной максимальной растворимостью марганца в кремнии. Таким образом, установлены концентрационная область нанокластеров марганца в кремнии, при котором наблюдается автоколебания тока типа ТЭН находится в интервале $N_{Mn} = 10^{14} \div 2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Как показали результаты эксперимента основные характеристики и их параметры образцов p-Si<B,Mn> в основном зависят от концентрации нанокластеров примесей марганца. Исходя из этих данных на рис.1 представлена зависимость пороговой напряженности электрического поля E_{Π} (минимальное значение напряженности электрического поля, при котором наблюдается стабильные и регулярные автоколебания тока типа ТЭН) от концентрации нанокластеров примесей.

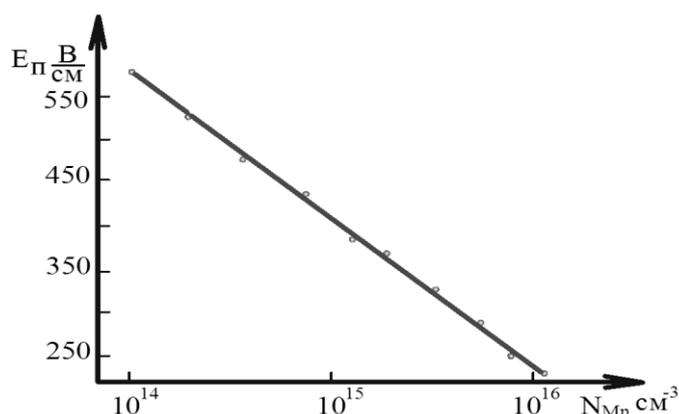


Рис. 1. Зависимость пороговой напряженности электрического поля E_{Π} от концентрации нанокластеров марганца

Для оценки влияние только объемной концентрации нанокластеров примесей во всех исследованиях условия эксперимента, удельное сопротивление образцов p-Si<B,Mn> и их геометрические размеры были одинаковыми, т.е. $\rho \approx 10^5 \text{ Омсм}$, $4 \times 8 \times 1 \text{ мм}^3$.

Как видно из рисунка, значение пороговой напряженности электрического поля уменьшается с ростом концентрации объемных нанокластеров примесей марганца в образцах p-Si<B,Mn>. При этом установлено, что с увеличением концентрации нанокластеров примесей марганца от $N_{Mn} = 10^{14} \text{ см}^{-3}$ до $N_{Mn} = 2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ пороговая напряженность электрического поля возбуждения ТЭН, уменьшается почти в 4 раза. Это означает, что выбирая материал с более высокой концентрацией нанокластеров примесей марганца в кремнии можно возбуждать автоколебания тока ТЭН при более низких электрических полях. Таким образом, установлены область пороговой напряженности электрического поля существования автоколебания тока типа ТЭН в образцах p-Si<B,Mn> с нанокластерами примесей марганца.

Результаты исследования показали, что в контрольных образцах без нанокластеров примесей марганца во всех условиях эксперимента автоколебания тока ТЭН не наблюдается. Эти результаты исследования свидетельствуют о том, что основной причиной возникновения автоколебания тока ТЭН в кремнии являются объемные нанокластеры примесей марганца.

Известно, что нанокластеры примесей марганца в кремнии находятся в многозарядных и метастабильных состояниях [3, 4]. С изменением условия эксперимента (электрическое поле, освещенность температура образца) существенно изменяется зарядовое состояние нанокластеров примесей марганца. Поэтому для оценки влияния концентрации и зарядовых состояний нанокластеров примесей марганца на параметры автоколебания тока ТЭН, исследованы зависимость амплитуды (разница максимальных и минимальных значений тока) от энергии падающих фотонов монохроматического излучения. На рис.2 приведены результаты исследования спектральной зависимости амплитуды автоколебания тока при различных значениях концентрации нанокластеров примесей марганца. При этом все условия эксперимента (электрическое поле, удельное сопротивление, геометрические размеры образцов, мощность монохроматического излучения) были одинаковыми. Как видно из рисунка с ростом концентрации нанокластеров примесей марганца энергия фотонов $h\nu$ соответствующая началу возбуждения автоколебаний тока смещается в сторону меньших энергий, как в образцах p-Si<B,Mn>, где концентрация нанокластеров примесей составляла $N_{Mn} = 2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ автоколебания тока наблюдаются при энергии фотонов $h\nu = 0,62 \text{ эВ}$, а в образцах с таким же удельным сопротивлением, но концентрация нанокластеров

примесей составляло $N_{Mn} = 1,4 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$, для возбуждения автоколебаний тока энергия падающих фотонов монохроматического излучения на поверхности образца должна быть $h\nu \geq 1,1 \text{ эВ}$.

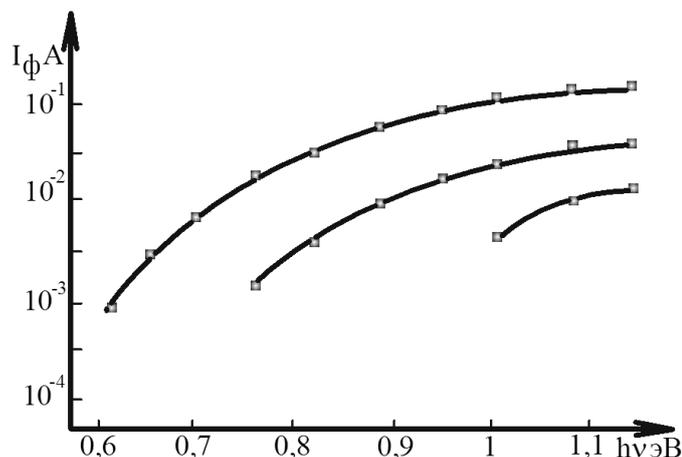


Рис. 2. Спектральная зависимость амплитуды автоколебания тока при различных значениях концентрации нанокластеров марганца

1. $N_{Mn} = 2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$. 2. $N_{Mn} = 1,5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$. 3. $N_{Mn} = 2 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$.

Результаты исследования показали, что в отличие от других материалов в кремнии с объёмными нанокластерами примесей марганца регулярные и стабильные автоколебания тока наблюдаются при одновременных освещениях монохроматическим и фоновым (интегральным) светом. Как показали результаты исследования с ростом концентрации нанокластеров примесей марганца монотонно увеличивается амплитуда автоколебаний тока и существенно расширяется область интенсивности фонового освещения существования автоколебаний тока.

Заключение.

На основе полученных экспериментальных результатов определены оптимальные условия возбуждения регулярных и стабильных автоколебаний тока при различных значениях концентрации нанокластеров примесей марганца в кремнии.

- Управляя концентрацией нанокластеров примесей марганца в образцах p-Si<B,Mn> можно управлять формой и параметрами автоколебаний тока в большом интервале, т.е. при этом частота автоколебаний тока меняется в интервале $f = 10^{-3} \div 10^4 \text{ Гц}$, амплитуда $I = 10^{-6} \div 1 \text{ А}$ с коэффициентом модуляции $K \approx 100\%$.

- Параметры автоколебаний тока сильно зависят от внешних воздействий (освещенности как монохроматического, так и интегрального света, электрического и магнитного поля и т.д.). Такая чувствительность параметров автоколебаний тока даёт возможность создать функциональные высокочувствительные датчики с уникальными свойствами на основе сильнокомпенсированного кремния p-Si<B,Mn> с нанокластерами марганца.

Список литературы / References

1. Bakhadyrkhanov M.K., Mavlyanov A.Sh., Sodikov U.Kh., Khakkulov M.K. Silicon with Binary Unit Cells as a Novel Class of Materials for Future Photoenergetics //Applied Solar Energy, 2015. Vol. 51. № 4. Pp. 258-261.
2. Бахадирханов М.К., Зикриллаев Н.Ф., Хамидов А., Саъдуллаев А.Б. О концентрации электроактивных атомов элементов переходных групп в полупроводниках. //UZBEK JOURNAL OF PHYSIKS. Volume 2. Number 3, 2000, P. 221-225.
3. Zikrillaev N.F., Sadullaev A.B. Power spectra of impurity in semiconductors in the condition of strong compensation.//SSP-2004. 8-th International Conference SOLED STATE PHYSICS, August 23-26, 2004. Almaty. Kazakhstan Abstracts Almaty-2004. Pp-254-255.
4. Бахадирханов М.К., Валиев С.А., Насриддинов С.С., Эгамов У. Особенности термических свойств сильнокомпенсированного Si<B,Mn>. // Неорганические материалы. Т. 45. № 11. Ноябрь, 2009. Стр. 1291-1293.
5. Саъдуллаев А.Б. Особенности комплексообразования между примесными атомами марганца и кислорода в кремнии. //«Молодой учёный». № 12, 2014. С. 50-52.