

ВЛИЯНИЕ ТЕРМООТЖИГА НА СОСТОЯНИЕ ИОННО-ИМПЛАНТИРОВАННЫХ АТОМОВ MN В Si

<https://doi.org/10.5281/zenodo.10618375>

Б.Э. Эгамбердиев

¹Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования “Национальный исследовательский университет “МЭИ” в г.Ташкенте

e-mail: bahromprof@gmail.com

Л.Э.Хасанова

¹ Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования “Национальный исследовательский университет “МЭИ” в г.Ташкенте

e-mail: lola.khasanova.93@mail.ru

Аннотация

В данной работе приведены результаты исследований изучения профилей распределения имплантированных атомов Mn в Si в зависимости от дозы облучения и температуры отжига методом РОР. Полученные результаты подтверждают аналогичные данные, полученные ВИМС. Изучено влияние термоотжига на распределение Mn и других примесей, в частности, кислорода. Приведена возможность использования метода РОР для анализа концентрационного распределения легированных примесей и взаимодействия примесей между собой.

Ключевые слова

примеси, профили, влияния, термический отжиг, , глубина, концентрационное распределение, доза облучения, температуры активации.

EFFECT OF ANNEALING OF STATE OF ION-IMPLANTED ATOMS OF Mn in Si

B.E. Egamberdiev

Branch of the federal state budgetary educational institution of higher education

“National Research MPEI University in Tashkent

e-mail: bahrom_prof@mail.ru

L.E. Khasanova

Branch of the federal state budgetary educational institution of higher education

“National Research MPEI University in Tashkent

e-mail: lola.khasanova.93@mail.ru

Abstract

The paper reports a number of experimental results related to the study of the effect of temperature of annealing and dose of irradiation applying the technique of Rutherford backscattering spectroscopy (RBS) on profiles of distribution of implanted atoms of Mn in Si. The results are proved by similar experimental results obtained by using Secondary Ion-Mass Spectrometry. The influence of thermal annealing on Mn and other impurities (especially oxygen) distribution profile was studied. The authors have identified how could RBS technique be implemented for determination of distribution profiles of concentrations of doped impurities and their interaction with each other in the bulk of material.

Keywords

impurities, profiles, influence, thermal annealing, depth, concentration distribution, dose of irradiation, temperature of activation.

Введение

Как известно в кремний, легированным элементом, переходных групп, в частности марганец, наблюдается ряд физических явлений, представляющих научной и практический интерес[1-4].

Получение тонких слоев в приповерхностной области Si с заданными электрофизическими свойствами и определенной толщиной представляет большой интерес как с точки зрения технологии, так и для создания различных датчиков и приборов высокой чувствительности. Наиболее интересными в этой области являются легирующие примеси элементов переходных групп, в частности марганец. С технологической точки зрения создать тонкие слои в кремнии с ограниченной глубиной и достаточной концентраций диффузионным методом является невозможным из-за большого значения коэффициента диффузии этих элементов. Поэтому прибегают к методу ионно-лучевого легирования.

Однако в литературе практически отсутствуют работы об ионной имплантации и профилях распределения по глубине марганца в кремнии. Поскольку примеси Mn в Si могут находиться как в узлах, так и междуузлах кристаллической решетки, и взаимодействовать с дефектами решетки, то распределение их при ионной имплантации и механизм их активации представляют определенной интерес.

Методы исследования

Целью настоящих исследований является изучение профилей распределения имплантированных атомов марганца в кремнии в зависимости от дозы облучения и температуры отжига.

Как известно, для изучения профиля распределения ионно-имплантированных слоев традиционными методами является вторично ионная масс-спектрометрия и Оже –электронная спектроскопия с послойным удалением. Но эти методы не дают высокой точности количественных характеристик, хотя точные количественные данные о концентрации легирующих примесей необходимы для дозировки с целью получения тонких слоев с заданными электрофизическими свойствами.

По этому в данной работе для исследования профилей распределения легирующих примесей Mn и влияния температуры активации на их распределения применили метод резерфордского обратного рассеяния (РОР).

Для исследования использовали пластины монокристаллического кремния марки КДБ с $p = 10 \text{ ом.см.}$ Имплантацию ионов Mn и в кремнии осуществляли на установке ИЛУ-3 при энергии ионов 40 кэВ вдоль кристаллографической оси (111). Дозу имплантации (N) варьировали в пределах $10^{-15} - 10^{-17} \text{ ион/см}^2$. Удельное сопротивление образцов измеряли 4-х зондовым методом.

Результаты и их обсуждение

На рис 1а-1в приведены профили распределения имплантированных ионов марганца в кремнии с 40 кэВ при различных дозах имплантации. Независимо от дозы имплантации распределения описывается гауссовской функцией. При этом глубина проецированного пробега (R_p) в зависимости от дозы облучения лежит в пределах 398 А-410 А. Это хорошо совпадает с данными исследования этих образцов другими методами, например, ВИМС [5-6].

Исследования по РОР для образцов Si после имплантации Mn дозой $10^{-15} \text{ ион/см}^2$ дали результаты на поверхности образца кремния -82.7%, кислород -10%, марганец -2% в атомных единицах. В пределах чувствительности Mn наблюдается до глубины - 600 А, а кислород - 900А. Для кремниевых пластин после ионной имплантации Mn $10^{-16} \text{ ион/см}^2$ процентное содержание кремния, кислорода и марганца в атомных единицах на поверхности составляет Si -69%, O-29%, Mn -2%. Существенное изменение процентного содержания наблюдается на глубине

порядка -400 А , где наблюдается следующие соотношения : Si -76%, 0-18%, Mn - 6%. В пределах чувствительности метода Mn наблюдается до глубины -650 А . Начиная с этой глубины , наблюдается редкое изменение содержания кислорода. На глубине - 900 А кислород практически не чувствует.

При имплантированный Mn дозой 10^{-17} ион/см² наблюдается следующая картина: на поверхности образца Si -64%, 0-34% и Mn -2%. На глубине 400 А Si -82%, 0-3%, Mn -15% в атомных единицах.

Анализ полученных данных показывает , что в процессе ионной имплантации , как на поверхности образца, так и на глубине максимума распределения Mn в основном содержание кислорода. Можно предположить, что внедренные ионы Mn в повсеместно вытесняют кислород. Это предположение оправдывается в случае, если кислород в кристалле кремния находится в свободном состоянии[7-8].

Большой научный и практический интерес представляет влияние термического отжига на поведение легирующих примесей, в частности , на распределение по глубине. Ниже приводятся результаты влияния термического отжига на распределение Mn по глубине Si образцов в течение 30 мин - рис 2. Как видно , температурный отжиг при 600° С существенно влияет на распределение примесей по глубине. Сильное влияние начинается при температурах 900° С.

Для образцов, легированных Mn при дозе 10^{-15} ион/см² максимум распределения перемещается на глубину -800 А, практически имеет содержание до 2 % ат.ед.- рис.3. При этом на поверхности не чувствует содержание Mn, кислород уменьшается до 27% ат .ед, на глубине 800 А кислород не чувствует.

Для образцов, легированных при дозе 10^{-16} ион/см² отжиг в течение 30 мин при температуре 600°С практически существенно влияет на распределение Mn. Наблюдается разрыв максимума. При температуре отжига 900°С максимум распределения перемещается на глубину 800А с уменьшением максимума до 5% ат.ед. Распределение примесей для образцов, легированных Mn дозой 10^{-17} ион/см² при термическом отжиге претерпевает существенные изменения. Температурный отжиг при 600 ° С в течение 30 мин к сдвигу максимума распределения на глубину 380 А и некоторому увеличению содержания на поверхности. Температурный отжиг при 900 С в течение 30 мин сильно влияет на распределение Mn. Максимум

смещается на глубину 600 Å. Форма распределения становится более пологой, Mn наблюдается до глубины порядка 1200 Å в пределах до 5% ат.ед –рис.4.

Анализ полученных данных дает основание утверждать, что с помощью РОР можно получить не только сведения о распределении примесей по глубине образцов, но и получить количественные характеристики.

На наш взгляд интересный является связь между распределением марганца и кислорода в кристаллах кремния. Сопоставление этих распределений показывает, что в глубине максимум распределения марганца содержание кислорода минимум, и наоборот в местах максимума содержания кислорода концентрация марганца имеет минимум.

Для нелегированных исходных образцов Si наблюдается распределение кислорода с некоторым избытком на поверхности с монотонным убыванием его в глубь образца, далее имеет место равномерное распределение.

После ионной имплантации это распределение претерпевает сильное изменение. Концентрация на поверхности и приповерхностных областях увеличивается, в области максимум распределения Mn наблюдается резкий спад его концентрации. Такое изменение происходит для всех образцов с различной дозой облучения.

Заключение

Основываясь на полученных результатах можно утверждать, что марганец при ионной имплантации в основном замещает кислород. Это утверждение будет реальным, если внутри объема Si кислород находится в несвязанном состоянии.

Процесс ионной имплантации не только влияет состояние кислорода, а также и на состояние дефектов. Созданные дефекты, как на поверхности, так и на глубине Si открывают свободные радикалы, которые притягивают к себе свободные частицы, в частности, O.

Таким образом, изучены профили распределений Mn с различной дозой облучения в Si методом РОР. Полученные результаты хорошо согласуются с аналогичными данными, полученными ВИМС. Изучено влияние термического отжига на распределение Mn и других примесей, в частности, кислород. Отмечена возможность использования метода РОР для анализа как концентрационного распределения легирующих примесей, так и взаимодействия примесей между собой.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Риссел Х, Руге И. «Ионная имплантация». М.Наука 1983. С 360.
- [2] Лифшиц В.Г. «Электронная структура и силицидов образование в тонких пленках переходных металлов на кремнии».Препринт. 1984,с.260.
- [3] Gerasimenko.N.N., Parkhomenko Yu.N. Silicon as material for nanoelectronics//Technosfera, М. 2007.352Р.
- [4] Biesinger M.C., Payne B.D., Grosvenor A.P., Lau L.W., Gersonb A.R., Smart R. Resolving surface chemical states in XPS analysis of first row transition metals, oxides and hydroxides: Cr, Mn, Fe, Co and Ni // Appl. Surf. Sci. – 2011. – V. 257, No. 7. – P. 2717-2730. – doi: 10.1016/j.apsusc.2010.10.051.
- [5] Эгамбердиев Б.Э, Бахадырханов М.К, Абдугаббаров М.С «Свойства поверхностных и приповерхностных слоев кремния, имплантированного марганцем» Неорганические материалы РАН, 1995,Т.31,№ 3,С. 301-303.
- [6] Эгамбердиев Б.Э. «Электронно- спектроскопические исследования физических свойств эпитаксиальных комбинаций и ионно-имплантированных слоев в кремнии ». Докторская диссертация – М, 2003,С 243.
- [7] Герасименко Н.Н., Пархоменко Ю.Н. Кремний-материал наноэлектроники. М.: Техносфера,2007.352с.
- [8] Эгамбердиев Б.Э. , Маллаев А. С. Кремниевые силицидные структуры на основе ионного легирования. Т.:изд. «Наука и технология» 2019г. 168с.

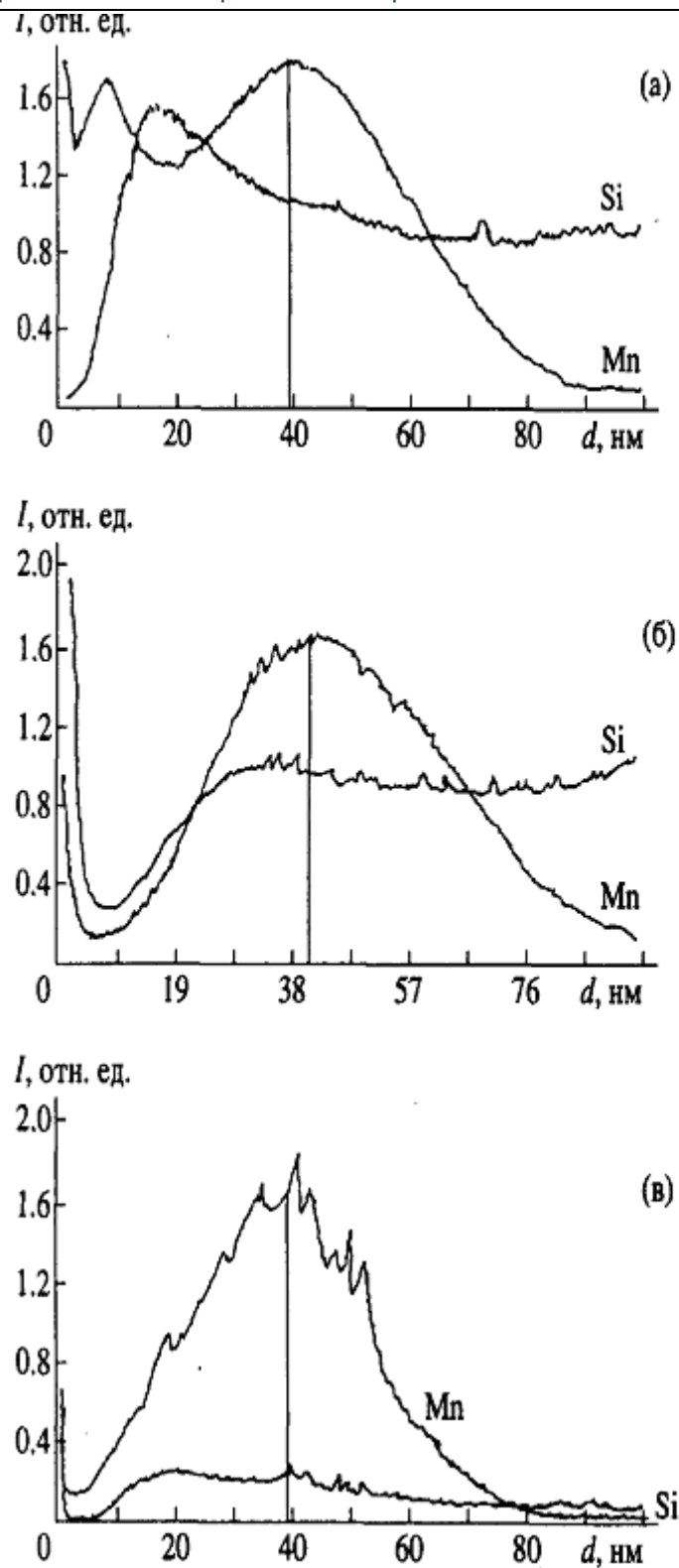


Рис.1. Профили распределения марганца в кремнии при дозах имплантации $N_0 = 5 \cdot 10^{15}$ (а), $5 \cdot 10^{16}$ (б), $5 \cdot 10^{17}$ ион/см²(в) (d - глубина слоя).

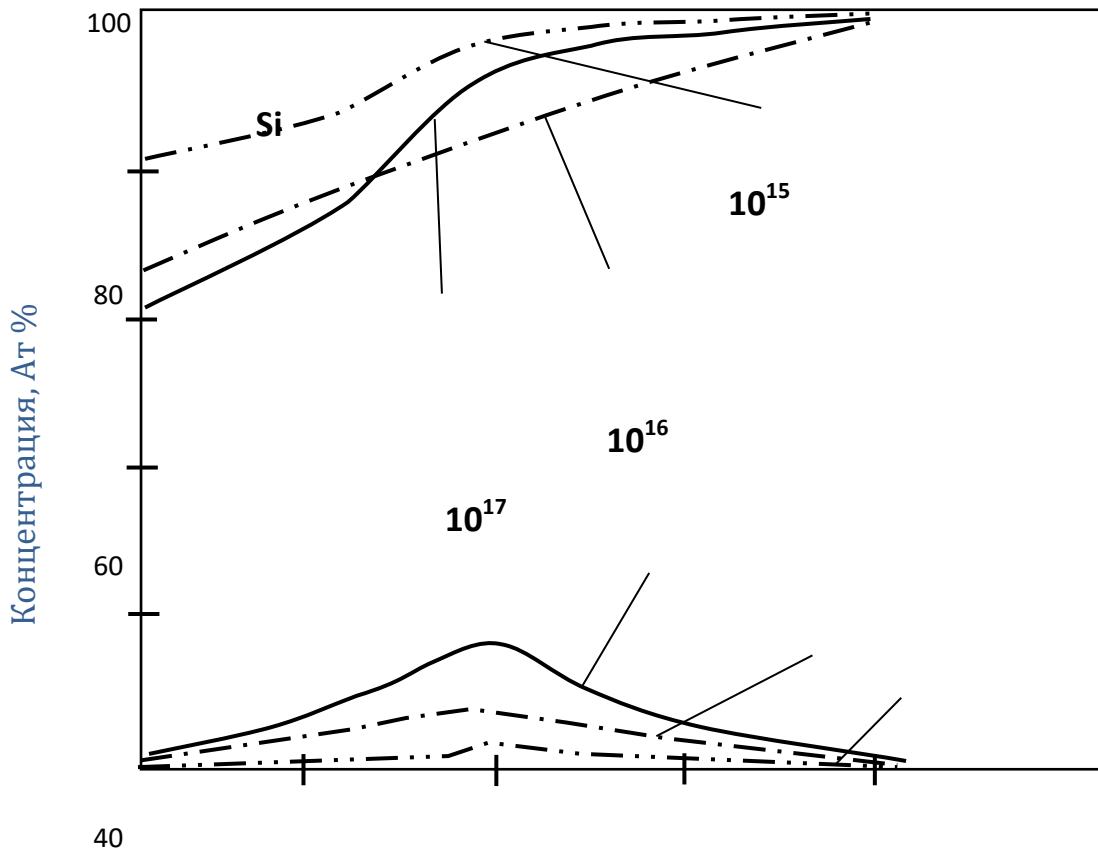


Рис.2. Распределение концентрации Mn в Si по глубине при дозе облучения $10^{15} - 10^{17}$ ион/см².

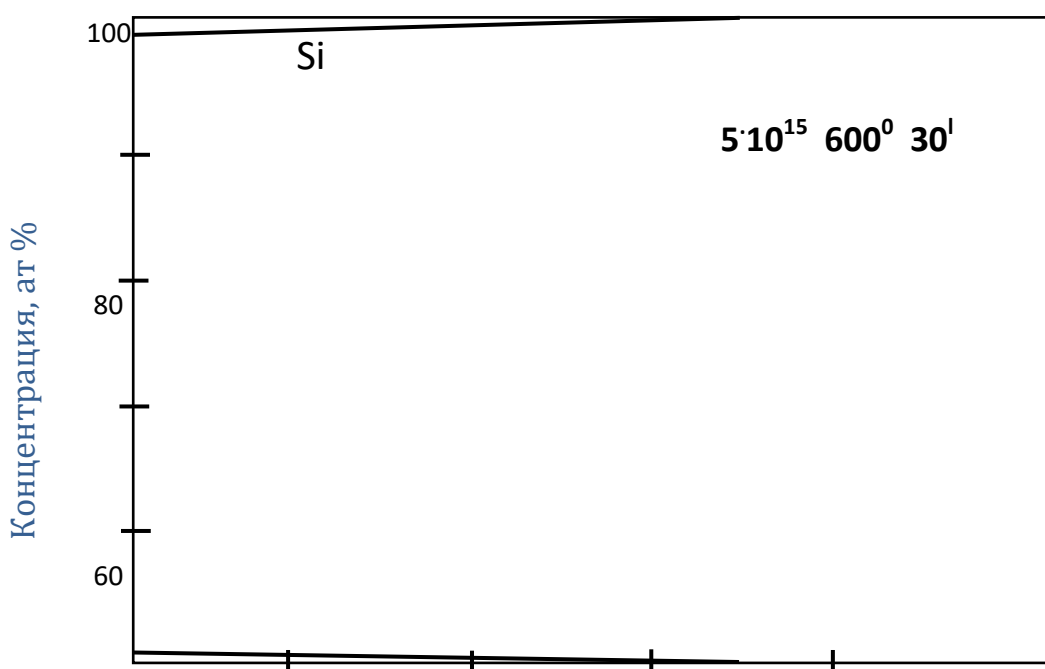


Рис.3. Распределение концентрации Mn в Si по глубине при дозе облучения 10^{15} ион/см² после отжига при температуре 600⁰C в течении 30 минут.

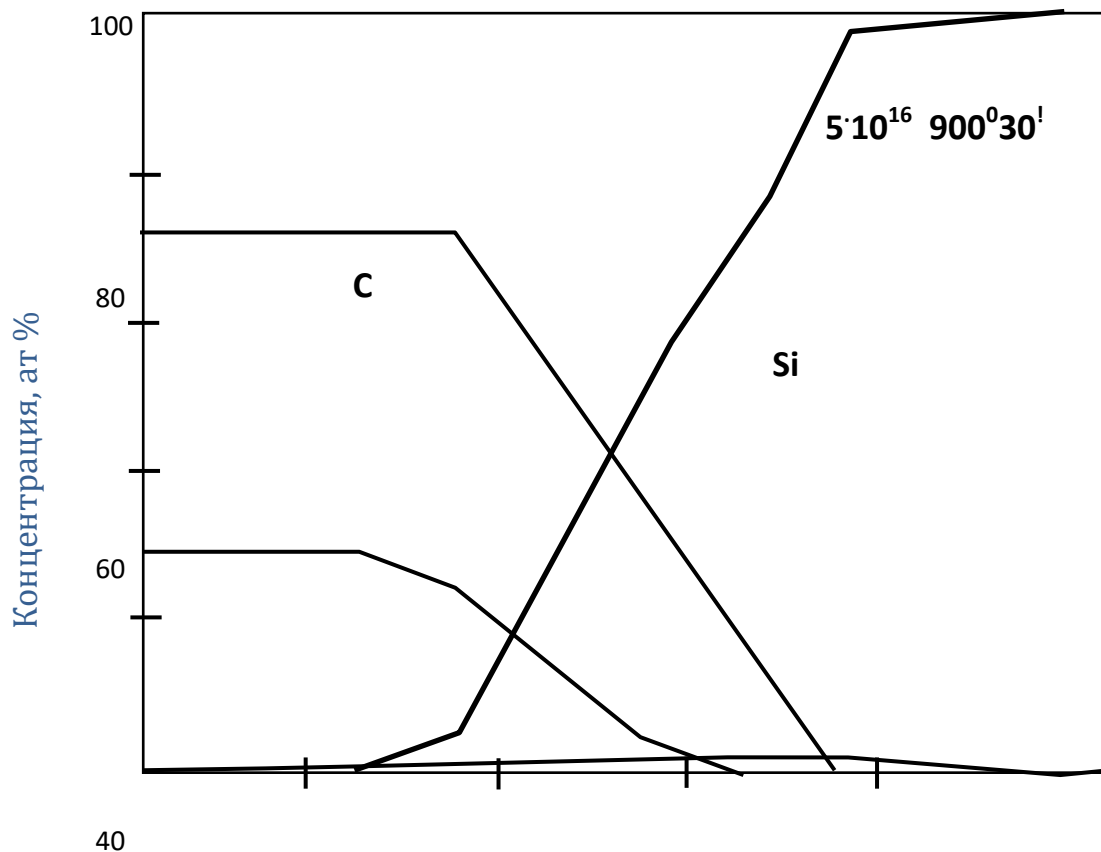


Рис.4. Распределение концентрации Mn в Si по глубине при дозе облучения 10^{16} ион/см² после отжига при температуре 900⁰C в течении 30 минут.