

ВЛИЯНИЕ ТЕРМОТЖИГА НА СОСТОЯНИЕ ИОННО-ИМПЛАНТИРОВАННЫХ АТОМОВ Mn В Si

Б.Э. Эгамбердиев¹, А.Т. Рахманов², С. Розиков³

¹ доктор физико-математических наук, профессор,

² кандидат технических наук, доцент, ³ магистр

Ташкентский государственный технический университет, Узбекистан

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, влияние, термический отжиг, глубина, концентрационное распределение, доза облучения, температуры активации.

Как известно в кремний, легированным элементом, переходных групп, в частности марганец, наблюдается ряд физических явлений, представляющих научный и практический интерес [1-2].

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 междоузлах кристаллической решетки, и взаимодействовать с дефектами решетки, то распределение их при ионной имплантации и механизм их активации представляют определенной интерес.

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.

Поэтому 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 $\rho = 10 \text{ Ом}\cdot\text{см}$. 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} ион/см². Удельное сопротивление образцов измеряли 4-х зондовым методом.

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 (Rp) в зависимости от дозы облучения лежит в пределах 398 А-410 А. Это хорошо совпадает с данными исследования этих образцов другими методами, например, ВИМС [3].

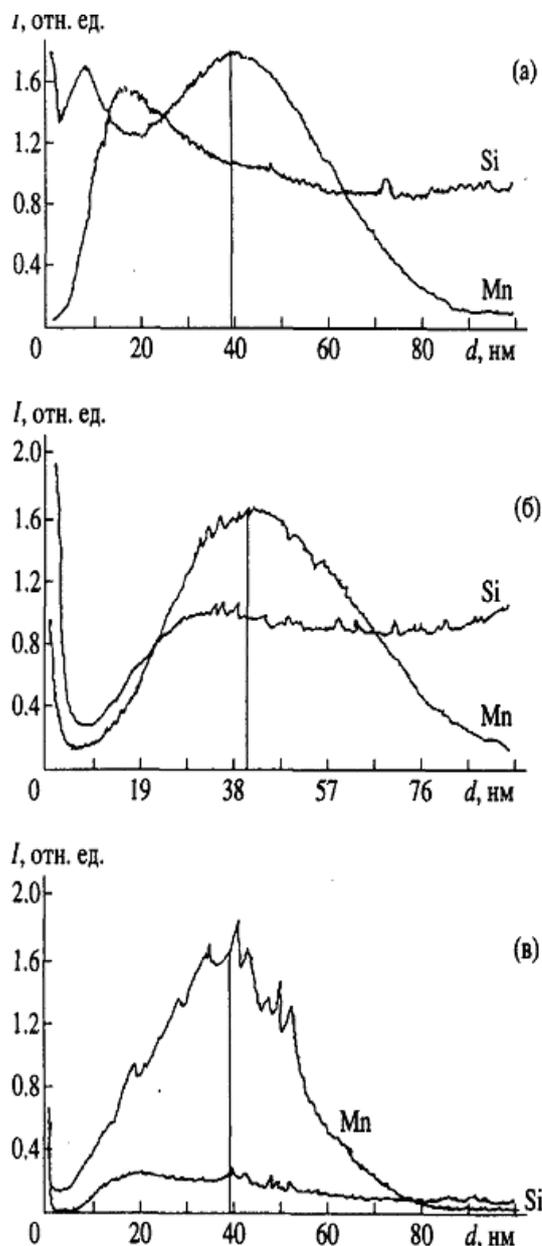


Рис. 1. Профили распределения марганца в кремнии при дозах имплантации $N_0=5 \cdot 10^{15}$ (а), $5 \cdot 10^{16}$ (б), $5 \cdot 10^{17}$ ион/см²(в) (d- глубина слоя)

Исследования по РОР для образцов Si после имплантации Mn дозой 10^{-15} ион/см² 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} ион/см² процентное содержание кремния, кислорода и марганца в атомных единицах на поверхности составляет Si – 69 %, 0-29 %, 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 чувствуется.

При имплантировании 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 повсеместно вытесняют кислород. Это предположение оправдывается в случае, если кислород в кристалле кремния находится в свободном состоянии [4-5].

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.

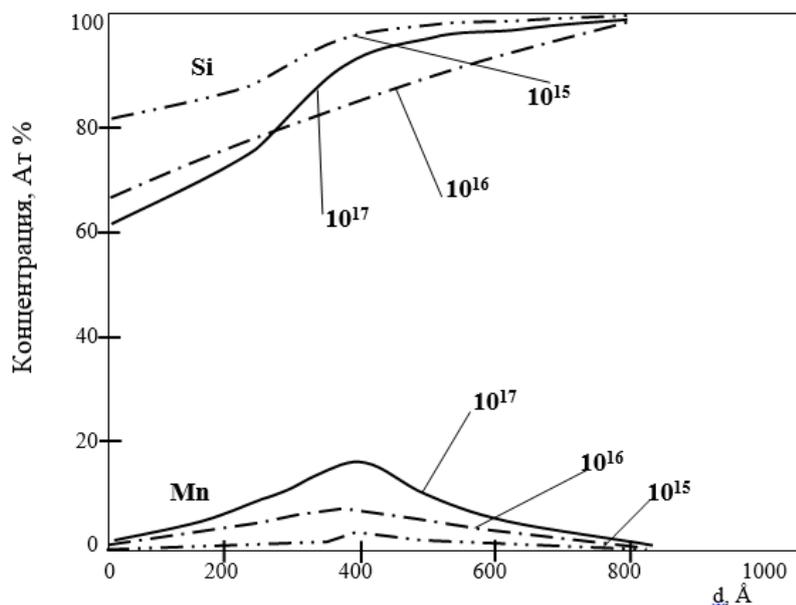


Рис. 2. Распределение концентрации Mn в Si по глубине при дозе облучения 10¹⁵ – 10¹⁷ ион/см²

Для образцов, легированных Mn при дозе 10⁻¹⁵ ион/см² максимум распределения перемещается на глубину – 800 Å, практически имеет содержание до 2 % ат.ед. – рис.3. При этом на поверхности не чувствуется содержание Mn, кислород уменьшается до 27 % ат.ед, на глубине 800 Å кислород не чувствуется.

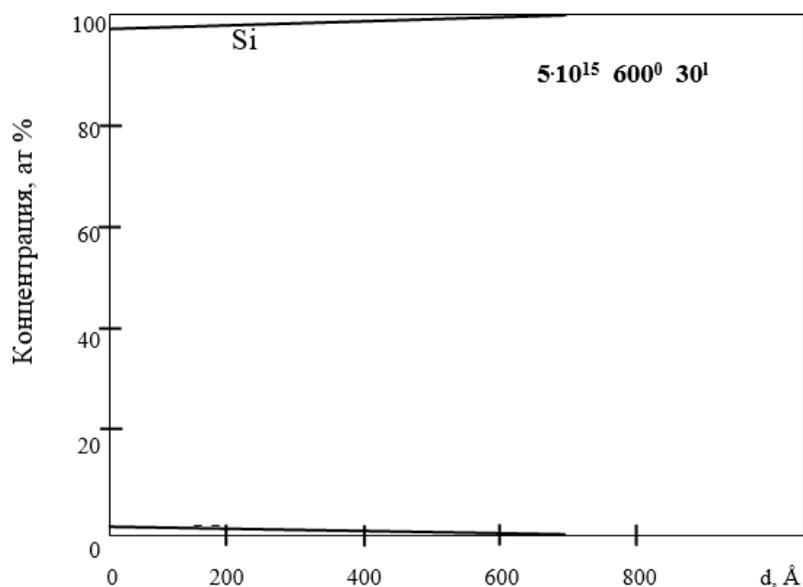


Рис. 3. Распределение концентрации Mn в Si по глубине при дозе облучения 10¹⁵ ион/см² после отжига при температуре 600°С в течении 30 минут

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 пика. При температуре отжига 900°С максимум распределения перемещается на глубину 800 Å с уменьшением максимума до 5 % ат.ед. Распределение примесей для образцов, легированных Mn доз 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 Å 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 полой, Mn наблюдается до глубины порядка 1200

А в пределах до 5 % ат.ед – рис.4.

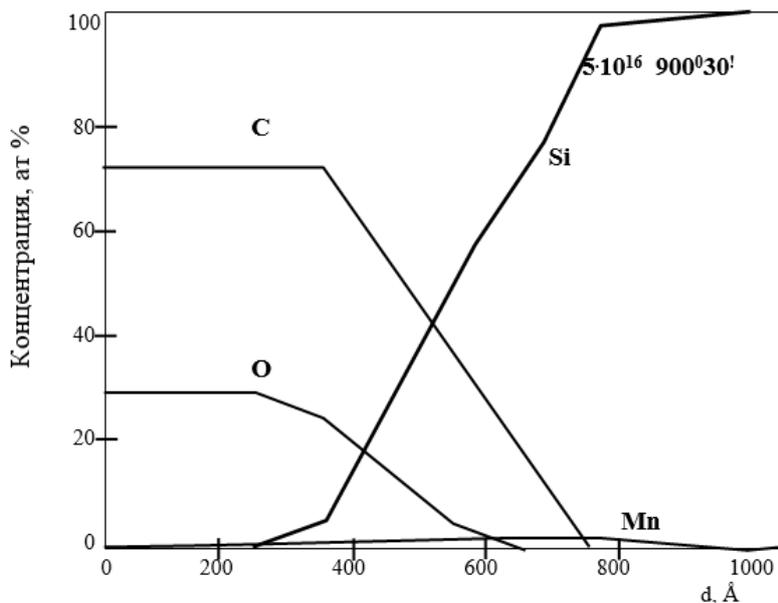


Рис.4. Распределение концентрации Mn в Si по глубине при дозе облучения 10^{16} ион/см² после отжига при температуре 9000С в течении 30 минут

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

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

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 максимума распределения Mn наблюдается резкий спад его концентрации. Такое изменение происходит для всех образцов с различной дозой облучения.

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 влияет не только на состояние кислорода, но 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 распределения в Mn с различной дозой облучения в Si методом POP. Полученные результаты хорошо согласуются с аналогичными данными, полученными ВИМС. Изучено влияние термического отжига на распределение Mn и других примесей, в частности, O. Отмечена возможность использования метода POP для анализа как концентрационного распределения легирующих примесей, так и взаимодействия примесей между собой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Риссел, Х, Руге, И. Ионная имплантация. / Х. Риссел, И. Руге – М.: Наука, 1983. – С. 360.
2. Лифшиц, В.Г. Электронная структура и силицидов образования в тонких пленках переходных металлов на кремнии. / В.Г. Лифшиц – Препринт, 1984. – С. 260.
3. Эгамбердиев, Б.Э. Свойства поверхностных и приповерхностных слоев кремния, имплантированного марганцем. / Б.Э. Эгамбердиев и др. // Неорганические материалы РАН. – 1995. – Т. 31. – № 3. – С. 301–303.
4. Эгамбердиев, Б.Э. Электронно-спектроскопические исследования физических свойств эпитаксиальных комбинаций и ионно-имплантированных слоев в кремнии. / Б.Э. Эгамбердиев – Докторская диссертация – Т, 2003. – С. 243.
5. Эгамбердиев, Б.Э. Физика и диагностика поверхности. / Б.Э. Эгамбердиев и др. – Т, 2012, С. 460.

Материал поступил в редакцию 20.12.17.

THE INFLUENCE OF THERMAL ANNEALING ON THE ION-IMPLANTED ATOMS STATE OF Mn IN Si

B.E. Egamberdiyev¹, A.T. Rakhmanov², S. Rozikov³

¹ Doctor of Physico-Engineering Sciences, Professor

² Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, ³ Master of Sciences
Tashkent State Technical University, Uzbekistan

Abstract. *The research results of implanted atoms distribution profiles of Mn in Si depending on the dose and annealing temperature by method of Rutherford backscattering are given in this work. The received results confirm the similar data obtained by secondary ion mass-spectrometry. The influence of thermo-annealing on distribution of Mn and other impurity, in particular, of oxygen is studied. The possibility of use of the Rutherford backscattering method for the analysis of concentration distribution of the alloyed impurity and interaction of impurity among themselves is presented.*

Keywords: *impurities, profiles, influence, Rutherford backscattering, depth, concentration distribution, irradiation dose, activation temperature.*