

## ВЛИЯНИЕ ТЕРМООТЖИГА НА СОСТОЯНИЕ ИОННО-ИМПЛАНТИРОВАННЫХ АТОМОВ MN В Si

<https://doi.org/10.5281/zenodo.18287685>

Б.Э.Эгамбердиев<sup>1</sup>, Л.Э.Хасанова<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт военной авиации Республики Узбекистан

*e-mail:* bahrom\_prof@mail.ru

<sup>2</sup>Ташкентский институт технологий, менеджмента и коммуникаций (ТМС)

*e-mail:* [lola.khasanova.93@mail.ru](mailto: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.

Как известно в кремний, легированным элементом, переходных групп, в частности марганец, наблюдается ряд физических явлений, представляющих научной 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.

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

Для исследования использовали пластины монокристаллического кремния марки КДБ с  $\rho = 10$  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  $10^{-15}$  - $10^{-17}$  ион/см<sup>2</sup>. 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].

Исследования по ROP для образцов Si после имплантации Mn дозой  $10^{-15}$  ион/см<sup>2</sup> 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/см<sup>2</sup> 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 наблюдаются следующие соотношения: Si -76%, O-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 имплантировании Mn дозой  $10^{-17}$  ион/см<sup>2</sup> наблюдается следующая картина: на поверхности образца Si -64%, O-34% и Mn -2%. На глубине 400 А Si -82%, O-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.

Для образцов, легированных Mn при дозе  $10^{-15}$  ион/см<sup>2</sup> 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/см<sup>2</sup> 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/см<sup>2</sup> при термическом отжиге претерпевает существенные изменения. Температурный отжиг при 600 °C в течение 30 мин к сдвигу максимума распределения на глубину 380 Å и некоторому увеличению содержания на поверхности. Температурный отжиг при 900 °C 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 POP 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.

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 POP. 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.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.
4. Эгамбердиев Б.Э. «Электронно- спектроскопические исследования физических свойств эпитаксиальных комбинаций и ионно-имплантированных слоев в кремнии ». Докторская диссертация – Т, 2003,С 243.
5. Эгамбердиев Б.Э , Мамадалимов А.Т, Ковешников С.В. «Физика и диагностика поверхности» Т,2012, С 460.

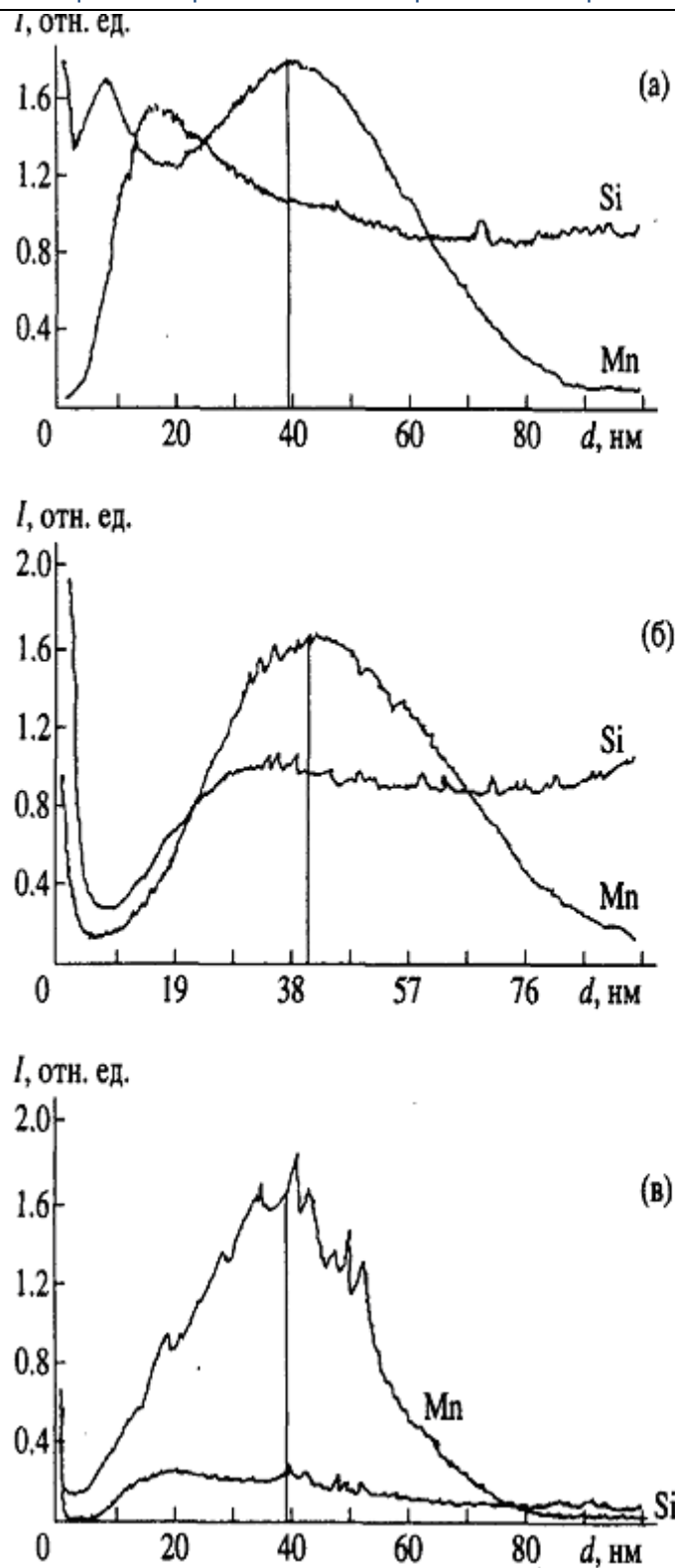


Рис.1. Профили распределения марганца в кремнии при дозах имплантации  $N_0=5 \cdot 10^{15}$ (а),  $5 \cdot 10^{16}$ (б),  $5 \cdot 10^{17}$  ион/см<sup>2</sup>(в) ( $d$ - глубина слоя).

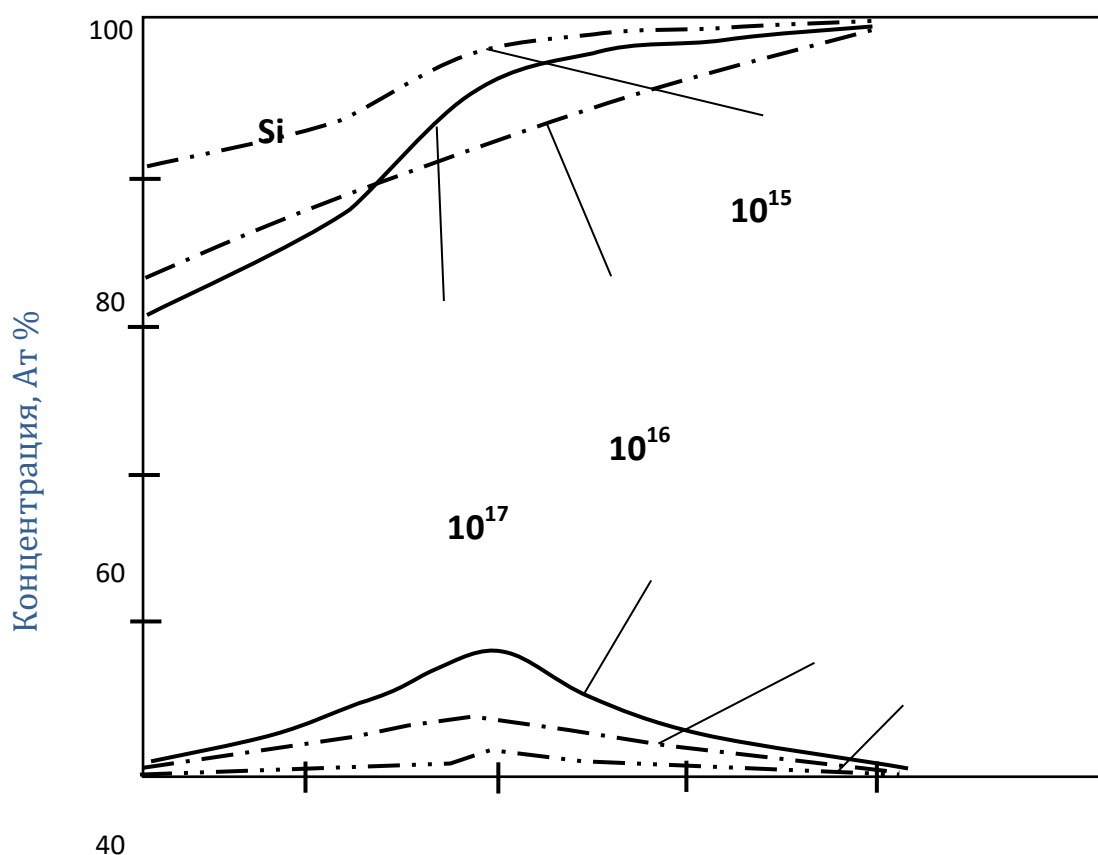


Рис.2. Распределение концентрации Mn в Si по глубине при дозе облучения  $10^{15}$  -  $10^{17}$  ион/см<sup>2</sup>.

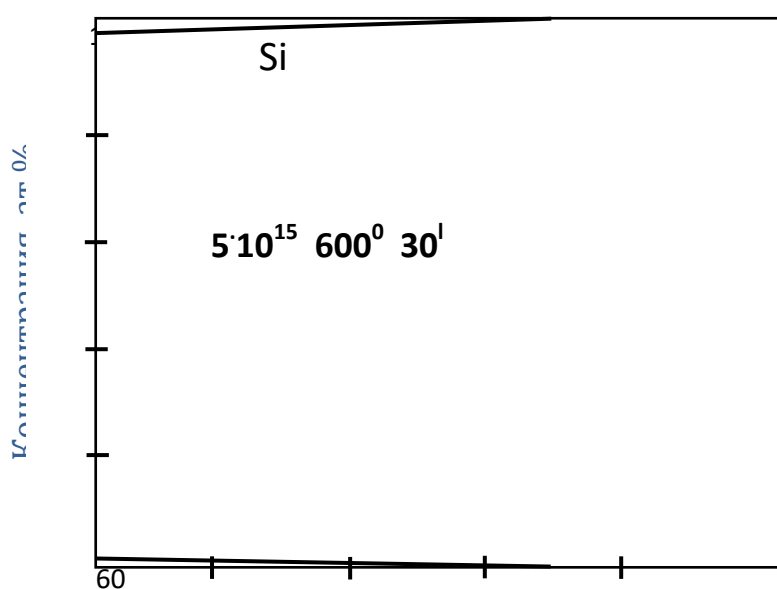




Рис.3. Распределение концентрации Mn в Si по глубине при дозе облучения  $10^{15}$  ион/см<sup>2</sup> после отжига при температуре 600°C в течении 30 минут.

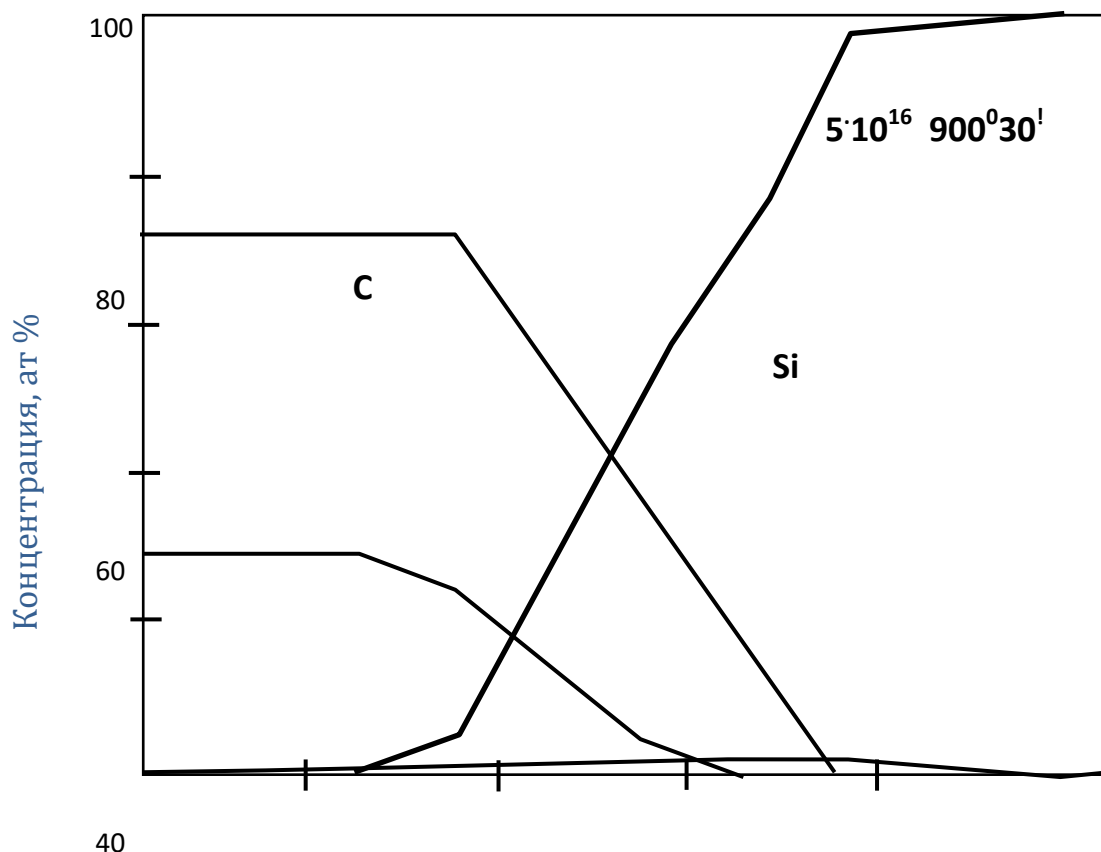


Рис.4. Распределение концентрации Mn в Si по глубине при дозе облучения  $10^{16}$  ион/см<sup>2</sup> после отжига при температуре 900°C в течении 30 минут.