

06.2; 07; 12

© 1991

АНОМАЛЬНАЯ ИМПЛАНТАЦИЯ As В Si
ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ИЗЛУЧЕНИЯ KrF ЛАЗЕРАВ.Л. К а н ц ы р е в, П.Б. С е р г е е в,
М.А. Т ю н и н а

Обработка полупроводников излучением импульсных эксимерных лазеров, включая жидкофазные процессы легирования из источников примесей различных типов и рекристаллизацию, может широко использоваться в технологии микроэлектроники. Одна из областей применения – создание мелкозалегающих прямоугольных профилей легирования с высокой концентрацией внедренной примеси. Известны работы по формированию таких концентрационных профилей в кремнии методом многоимпульсного фотохимического легирования [1] и в результате многоимпульсного воздействия на слои кремния с предварительной ионной имплантацией большими дозами легирующей примеси [2]. Возможно также легирование из твердого пленочного источника примеси на поверхности обрабатываемого полупроводника [3, 4].

В данной работе исследованы особенности распределения примеси при легировании поверхности кремния мышьяком из предварительно нанесенных пленок As под воздействием излучения мощного KrF лазера.

В экспериментах использовались подложки монокристаллического кремния ориентации (100) и (111) с исходной концентрацией акцепторной примеси $10^{14} \dots 10^{16} \text{ см}^{-3}$. На рабочей поверхности подложек формировали низкотемпературным вакуумным напылением пленки As толщиной до 0.3 мкм [4]. Облучение образцов проводили в вакууме (10^{-5} мм рт. ст.) при комнатной температуре. Плотность энергии лазерного излучения (длина волны 248 нм, длительность импульса 80 нс) на подложке E составляла от 1.0 до 2.5 Дж/см² при площади сечения лазерного пучка до 2 см² [5]. Интервал E выбран по результатам ранее выполненных исследований и соответствует оптимальному режиму формирования p - p -переходов $As : Si$ с характеристиками близкими к характеристикам идеального диода [4]. Для сравнения проведены были также эксперименты по отжигу Si с ионной имплантацией As (энергия ионов 40 кэВ, доза имплантации до 10^{16} см^{-2}) и Sb (100 кэВ, $10^{15} \dots 10^{16} \text{ см}^{-2}$) в том же интервале E . Распределение примеси в Si после лазерной обработки изучалось методом нейтронно-активационного анализа с послойным травлением Si [4].

Исследования показали, что характер распределения As в Si , внедренного из пленки в моноимпульсном режиме лазерного воздей-

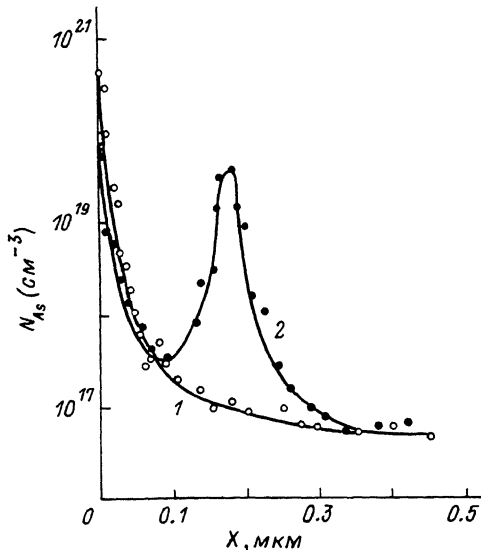


Рис. 1. Профили концентрации As лазерно-имплантированного в Si при $E=2$ Дж/см². 1 – моноимпульсное облучение; 2 – многоимпульсное облучение, число импульсов $N \geq 2$.

ствия, не зависит от толщины пленки и ориентации Si . Профиль концентрации As в Si ($N_{As}(X)$) имеет максимум у поверхности Si в слое до 0.01 мкм, резкий спад на глубине до 0.1 мкм и „хвост“ вплоть до 0.2...0.6 мкм (рис. 1). Максимальная концентрация As не связана с толщиной пленки As , и растет с повышением E от $1.5 \cdot 10^{18}$ см⁻³ при $E=1.0$ Дж/см² до $5 \cdot 10^{20}$ см⁻³ при $E=2.5$ Дж/см². Максимальная глубина внедрения примеси также растет с повышением E и хорошо совпадает с расчетными значениями глубины проплава Si [6]. Эти зависимости объяснимы с точки зрения модели плавления Si под воздействием лазерного излучения и жидкофазной диффузии As из паров у поверхности расплава Si , образующихся вследствие поглощения излучения планкой As с последующим ее нагревом и сублимацией (T сублимации 300 °C). Наличие в распределении примеси приповерхностного пика можно, вероятно, связать с более длительным существованием жидкой фазы у поверхности подложки, чем в глубине. Но различие времени диффузии в этом случае не может дать отличие в концентрациях на 2...3 порядка величины. Более вероятной причиной возникновения пика представляется сегрегация As в Si . Известно, что равновесное значение коэффициента сегрегации As в Si K_{As} составляет примерно 0.3 [7]. По литературным данным [7], в процессе затвердевания расплава Si после лазерного воздействия реализуются сильно неравновесные условия, приводящие к значительному росту коэффициента сегрегации. Исследования перераспределения ионно-имплантированного As в Si под воздействием импульсного излучения эксимерных лазеров, проведенные в [2],

показали отсутствие сегрегационного пика, на основании чего K_{As} при скоростях кристаллизации Si (начиная с $v \approx 3$ м/с) полагают равным 1.0. В нашем случае оценка скорости волны кристаллизации дает величину 3.5 м/с, что должно привести к $K_{As} \rightarrow 1$ и отсутствию сегрегации.

С целью выяснения природы этого противоречия было исследовано перераспределение внедренного из пленки As под воздействием нескольких импульсов излучения с одинаковой E . Обнаружено, что, начиная со второго импульса, As перераспределяется в Si с некоторым уменьшением приповерхностного пика и образованием в глубине подложки (для $E=2.0$ Дж/см² - на глубине около 0.2 мкм) второго пика со значением концентрации в максимуме, отличающимся от поверхностного на порядок величины (рис. 1). Изменений профиля распределения, сформированного двумя импульсами лазерного излучения, при последующих импульсах не обнаружено. Можно утверждать, что такое распределение с двумя максимумами соответствует некоему равновесному состоянию.

Аномальное перераспределение As в Si обнаружено и в результате одно- и многоимпульсного облучения Si с ионной имплантацией As . Внедрение ионов As^+ с энергией 40 кэВ создавало профиль, близкий к гауссовому, с максимумом на глубине около 0.03 мкм. Облучение с $E=2.0$ Дж/см², согласно результатам ранее выполненных работ [2], должно было привести к уширению профиля, его сглаживанию и внедрению примеси на глубину, несколько большую, чем глубина проплава монокристаллического Si .

В исследованных нами образцах, помимо уширения профиля и увеличенной глубины внедрения As , обнаружен аномально большой сегрегационный пик у поверхности Si (рис. 2), свидетельствующий о том, что после лазерного воздействия на поверхности образца имеется слой почти чистого As . Уменьшение приповерхностного пика при воздействии последующих импульсов связано, вероятно, с потерей As с поверхности. Сам же профиль остается практически неизменным. Известно, что аналогичные профили можно сформировать воздействием импульсного излучения эксимерных лазеров на Si с ионной имплантацией примеси, обладающей низким значением коэффициента сегрегации (например, In , Ga , Bi), которое при скорости кристаллизации $v \approx 3$ м/с увеличивается в 500...600 раз и может достигать 0.2...0.4 [7]. Наличие сегрегационного пика в распределении As в Si свидетельствует об отличном от 1.0 значении коэффициента сегрегации и вероятности реализации условий формирования твердого раствора, близких к равновесным. Это подтверждается наличием сегрегационного пика в профиле распределения Sb в Si после ионной имплантации и последующего моноимпульсного лазерного воздействия с $E=2.0$ Дж/см² (рис. 2).

Таким образом, экспериментально обнаружено аномальное распределение As в Si , формируемое в результате воздействия лазерного излучения в моно- и многоимпульсном режиме как на пленки As , нанесенные на поверхность Si , так и на слои в Si

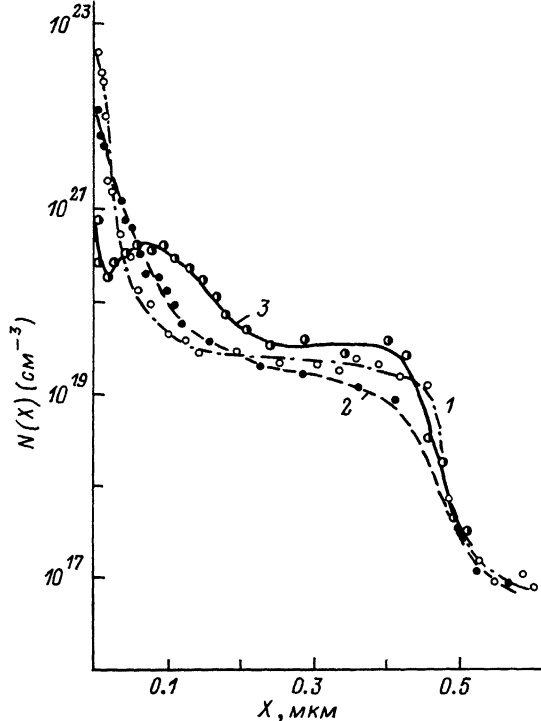


Рис. 2. Профили концентрации As и Sb в Si . 1 - после ионной имплантации As (энергия 40 кэВ, доза 1500 мкКул/см²); 2 - после ионной имплантации As и лазерного облучения $E=2.0$ Дж/см²; 3 - после ионной имплантации Sb (энергия 100 кэВ, доза 1000 мкКул/см²) и лазерного воздействия $E=2.0$ Дж/см².

с предварительной ионной имплантацией As . Наличие приповерхностного сегрегационного пика и генерация второго заглубленного пика свидетельствуют об отличном от 1.0 значении коэффициента сегрегации и вероятности равновесного формирования твердого раствора. Причины возникновения равновесных условий должны быть выяснены в ходе дальнейших исследований.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Garey P.G., Signov T.M. // Appl. Surf. Sci. 1989. V. 43. N 1-4. P. 325-332.
- [2] Fogarassy E., Fuchs C., De Unamuno S., Siffert P. // Appl. Surf. Sci. 1989. V. 43. N 1-4. P. 316-320.

- [3] Быковский Ю.А., Вьюков Л.А., Колосов Ю.Н., Людчик О.Р., Неволин В.Н. // Квантовая электроника. 1984. Т. 11. С. 2172-2176.
- [4] Канцырев В.Л., Морозов Н.В., Ольшвангер Б.А., Сергеев П.Б., Тюнина М.А. // Письма в ЖТФ. 1991. Т. 17. № 2. С. 53-61.
- [5] Канцырев В.Л., Морозов Н.В., Сергеев П.Б., Тюнина М.А. // Краткие сообщения по физике (ФИАН). 1990. № 9. С. 3-5.
- [6] Wood R.F., Jellison G.E. // J. Semicon. Semimet. 1984. V. 23. P. 166-169.
- [7] Poate J.M., Mayer J.W., Laser Annealing of Semiconductors. Academic Press. New York. 1982. 155 p.

Поступило в Редакцию
21 июня 1991 г.