

УДК 621.3.049.77

Влияние дефектов ионной имплантации на характеристики кристаллов микросхем

Радзышевская Виктория Витальевна

vikuharad13@gmail.com

Андреев Владимир Викторович

vladimir_andreev@bmstu.ru

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Россия

Рассмотрен процесс ионной имплантации легирующей примеси и возникающие при этом дефекты в кремнии. Проанализировано влияние дефектов на работоспособность микросхем и рассмотрена возможность их контроля. Проанализированы дефекты различных типов, возникающие при ионном легировании. Изучены электрофизические параметры, зависящие от дефектов, появляющихся при проведении процесса имплантации ионов. Предложена методика подбора параметров процесса ионного легирования для минимизации возникающих дефектов.

Ключевые слова: ионная имплантация, дефекты, электрофизические параметры

Ионная имплантация представляет собой процесс внедрения атомов примеси в кристаллическую решетку полупроводника для изменения его электрических свойств. В процессе ионного легирования могут возникнуть различные виды дефектов, которые существенно влияют на качество и характеристики конечного продукта [1].

Основные типы дефектов, возникающие в процессе ионной имплантации:

- поверхностные дефекты — это аморфизация, микротрещины, эрозия поверхности;
- дефекты в объеме материала — замещающие дефекты, кластерные дефекты, фазовые превращения;
- радиационные повреждения — генерация свободных электронов и дырок, образование центров рекомбинации.

Дефекты также могут оказывать существенное влияние на параметры и характеристики микросхем, это приводит к ухудшению свойств микросхем, таких как: электрические свойства (изменение удельного сопротивления, снижение подвижности носителей, увеличение уровня шума), диэлектрическая прочность (повышение вероятности пробоя, понижение надежности, оптические свойства (поглощение и рассеяние света), механические свойства (нарушение целостности структуры, стрессовые эффекты), теплопроводность (замедление отвода тепла) [2].

Рассмотрим каким образом некорректность процесса ионной имплантации влияет на электрофизические параметры кристаллов микросхем.

1. *Подвижность носителей заряда.* Под этим параметром понимают способность электронов и дырок перемещаться в полупроводнике под действием внешнего электрического поля. Дефекты в кристаллической решетке, такие

как вакансии, междоузельные атомы и дислокации, действуют как препятствия для свободного перемещения носителей. В результате это ведет к увеличению времени переключения транзисторов и ухудшению быстродействия микросхем [1, 2].

2. *Удельное сопротивление.* Удельное сопротивление определяет, насколько легко ток проходит через материал. Дефекты могут изменить концентрацию носителей заряда, что напрямую влияет на удельное сопротивление.

3. *Пороговое напряжение транзистора.* Пороговое напряжение — это минимальное напряжение, необходимое для включения транзистора. Дефекты вблизи канала транзистора могут изменить распределение заряда и локальные электрические поля, что повлияет на пороговое напряжение и может сделать работу транзисторов нестабильной.

4. *Ток утечки.* Ток утечки — это нежелательный ток, протекающий через устройство даже при отсутствии управляющего сигнала. Дефекты создают дополнительные пути для протекания тока, что увеличивает ток утечки.

5. *Эффективность генерации и рекомбинации носителей.* Некоторые дефекты могут выступать в роли центров рекомбинации, где электроны и дырки встречаются и нейтрализуют друг друга. Это снижает эффективность работы светодиодов, солнечных батарей и других устройств, основанных на процессах генерации носителей [2].

6. *Шумовые характеристики.* Дефектные центры могут захватывать и освобождать носители заряда случайным образом, что создает шумы в сигналах и могут сильно ухудшать чувствительность и стабильность работы аналоговых цепей.

7. *Время жизни неосновных носителей.* Время жизни неосновных носителей характеризует скорость, с которой носители возвращаются в равновесное состояние после возбуждения. Дефектные центры увеличивают скорость рекомбинации и уменьшают время жизни, что важно для работы биполярных транзисторов, фотодиодов и других приборов [1].

Для снижения негативного влияния дефектов применяются следующие меры: оптимизация процесса имплантации (подбор необходимых параметров энергии и дозы ионов позволяющих уменьшить количество дефектов), использование защитных покрытий (защищает поверхность от повреждений и снижает возможность образования поверхностных дефектов), применение современных методов отжига (позволяют восстанавливать кристаллическую структуру и устранять дефекты) [1, 3, 4].

Заключение. Дефекты, возникающие при ионной имплантации, играют важную роль в определении качества и характеристик полупроводниковых устройств, так как они оказывают комплексное влияние на электрофизические параметры микросхемы. Они могут снижать подвижность носителей, увеличивать удельное сопротивление, сдвигать пороговое напряжение, повышать ток утечки, усиливать шумы и сокращать время жизни неосновных носителей. Правильный контроль процесса и использование методов устранения дефектов позволяют получать высококачественные материалы и изделия.

Литература

- [1] Никифоров А.Ю. *Основы физики процессов в полупроводниковых приборах*. Санкт-Петербург, Лань, 2018.
- [2] Андреев В.В., Барышев В.Г., Бондаренко Г.Г., Столяров А.А., Шахнов В.А. Исследование зарядовой деградации МДП-структур в сильных электрических полях методом управляемой токовой нагрузки. *Микроэлектроника*, 2000, т. 29, № 2, с. 105–112.
- [3] Строгонов А. В. Долговечность субмикронных БИС и ПЛИС. *Микроэлектроника*, 2005, т. 34, № 2, с. 138–158.
- [4] Глудкин О.П., Черняев В.Н. *Анализ и контроль технологических процессов производства РЭ*. Москва, Радио и Связь, 1983, 296 с.
- [5] Andreev D.V, Bondarenko G.G, Andreev V.V., Maslovsky V.M., Stolyarov A.A. Influence of temperature on high-field injection modification of MIS structures with thermal SiO₂ films doped with phosphorus. High temperature material processes: an international quarterly of high-technology plasma processes, 2019, vol. 23, is. 4, pp. 303–312.
<https://doi.org/10.1615/HighTempMatProc.2019031840>

The effect of ion implantation defects on the characteristics of chip crystals

Radzyshevskaya V.V.

vikuharad13@gmail.com

Andreev V.V.

vladimir_andreev@bmstu.ru

BMSTU (KB), Kaluga, Russia

The process of ion implantation of an alloying impurity and the resulting defects in silicon are considered. The influence of defects on the performance of microcircuits is analyzed and the possibility of their control is considered. Defects of various types that occur during ion alloying are analyzed. The electrophysical parameters depending on the defects that appear during the ion implantation process have been studied. A method for selecting the parameters of the ion doping process to minimize the defects that occur is proposed.

Keywords: ion implantation, defects, electrophysical parameters