

УДК 621.382

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ПРИБОРНЫХ СТРУКТУР С ЗАДАНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ

Асс. *Мустафаев М.Г.*, доц. *Мустафаева Д.Г.*

Кафедра электронных приборов.

Северо-Кавказский горно-металлургический институт
(государственный технологический университет)

Рассмотрена возможность совершенствования метода и повышения эффективности процесса имплантации при создании приборных структур.

Ионная имплантация как метод создания микроэлектронных устройств нашла широкое применение. Точное дозирование легирующей примеси, возможность формирования заранее заданного профиля распределения, низкотемпературность процесса выгодно отличает данный метод введения примеси от других методов легирования в современной технологии производства полупроводниковых приборов и интегральных схем [1].

Метод ионной имплантации является одним из основных современных методов направленного изменения поверхностных свойств твердых тел.

Легирование посредством внедрения ионов имеет ряд существенных преимуществ, связанных с нетепловым характером внедрения примеси:

– универсальность, т.е. возможность введения любой примеси в любое твердое вещество;

– низкотемпературность – обычно сопутствующий ионному легированию отжиг проводится при температурах, существенно более низких, чем при диффузионном легировании, что позволяет избежать нежелательных температурных воздействий на полупроводниковый материал;

– возможность гибкого управления распределением примеси во всех трех измерениях путем вариации энергии ионов, применением защитных масок и сканирования ионного пучка;

– возможность строгой дозировки примеси при легировании, с помощью точного контроля плотности ионного тока и времени процесса;

– чистота введенной примеси, обеспечивается применением электромагнитной масс-сепарации ионных пучков и вакуумным условием процесса;

– возможность легирования через диэлектрические и металлические покрытия.

Эти преимущества позволили методу ионной имплантации стать практически основным для формирования элементов полупроводниковых приборов.

Для ионной имплантации используются как ионы донорной и акцепторной примеси, основными из которых для кремния являются бор, фосфор, мышьяк и сурьма, так и ионы “нейтральных” примесей, таких как аргон, кислород, азот и др.

Основными технологическими параметрами процесса имплантации являются энергия и доза внедренных ионов, плотность ионного тока. Вариацией энергии ионов регулируют глубину проникновения ионов в образец. Глубина проникновения ионов характеризуется средним проецированным пробегом и среднеквадратичным разбросом проецированных пробегов.

Доза ионов определяет концентрацию внедренной примеси. В реальных случаях при имплантации монокристаллических образцов при определенных условиях форма профиля внедренных ионов может существенно отличаться от гауссовой, например – вследствие эффекта каналирования.

На форму профиля внедренных ионов влияет также диффузионное перераспределение примеси, обусловленное повышением температуры образца при имплантации с высокой плотностью тока ионов, а также радиационно-стимулированная диффузия.

Для устранения радиационных повреждений и увеличения степени электрической активации примеси после ионной имплантации проводится отжиг образцов. Помимо использования термического отжига имплантированных образцов применяется импульсный отжиг некогерентным светом, электронный, лазерный и т.д. [2, 3].

Отжиг могут проводить в следующих температурных интервалах. Низкотемпературный отжиг применяют, когда сформированные уже элементы конструкции прибора не выдерживают высоких температур. При этом сохраняется значительное число нарушений структуры полупроводника. Низкотемпературный отжиг может устранить большую часть радиационных повреждений в области р-п-перехода и обеспечить хорошее его качество.

Отжиг при температурах 1173 – 1273 К позволяет повысить степень электрической активности примеси. В этом случае большинство внедренных атомов занимают регулярные положения в решетке полупроводника и восстанавливаются значения подвижности и времени жизни носителей.

Высокотемпературный отжиг (1373 – 1473 К) применяют исключительно для диффузионной разгонки примеси из тонкого приповерхностного легированного слоя полупроводника. В полупроводниковой технологии такой вид отжига применяют для формирования бездефектных р-п-переходов, которые залегают значительно глубже радиационного нарушенного слоя. При этом используют преимущественно ионной имплантации, заключающейся в строгом контроле количества внедренной примеси.

Имплантационное оборудование позволяет проводить имплантацию полупроводниковых материалов различными ионами с энергией от 10 до 500 кэВ в диапазоне доз от 10^{11} до 10^{18} ион/см².

Метод ионной имплантации является одним из наиболее перспективных методов легирования в технологии производства микроэлектроники.

Расширить возможности метода ионной имплантации можно используя новые принципы получения и формирования ионных пучков.

Совершенствование метода происходит за счет развития теоретических представлений, а также за счет расширения области применения и номенклатуры используемых ионов.

Для получения, формирования и ускорения ионных пучков используются ионно-лучевые установки:

- малых и средних доз;

- больших доз;
- высокоэнергетические.

Такие широкие возможности метода используются для решения многих технологических задач.

Одним из основных элементов конструкций ионно-лучевой установки является ионный источник, который служит для получения и первичного формирования ионного пучка.

Совершенствование ионных источников возможно как по пути применения новых принципов генерации ионов, так и по пути модернизации существующих типов, применения новых конструктивных материалов. Основными тенденциями в развитии источников ионов являются увеличение длительности работы, упрощение конструкции, повышение эффективности и полная автоматизация управления.

Важнейшим элементом ионно-лучевой установки является система ускорения ионного пучка. Выбор конструкции системы ускорения определяется назначением имплантационной установки.

В низкоэнергетических установках (до 50 кэВ) используют одноэлектродную систему ускорения, а при более высоких энергиях ускорительную трубку с несколькими электродами. Ускорительная трубка применяется в ионно-лучевых установках малых и средних доз и во всех высокоэнергетических установках.

Ужесточение требований к ионно-лучевым установкам способствует непрерывному совершенствованию основных узлов оборудования, в частности, ионных источников и разработке новых систем основанных на иных принципах. Одним из таких подходов является система импульсной ионной имплантации, с лазерным источником ионов.

Особенностями лазерной плазмы как эмиттера ионов являются:

- широкий энергетический спектр ионов (несколько сотен эВ);
- практически изотропное угловое распределение ионов;
- частотный характер эмиссии ионов;
- высокие плотности ионного тока;
- высокая чистота получаемых ионных пучков;
- большая яркость ионного источника.

Лазерное излучение не вносит загрязнений в лазерную плазму, кроме того не происходит разогрева ионизационной камеры и

других частей установки, что обеспечивает достаточную чистоту ионного пучка.

Лазерный источник позволяет получать достаточно интенсивные пучки ионов практически любых твердых веществ, что дает возможность реализовать универсальную по номенклатуре получаемых ионов установку. Чистота ионного пучка на выходе лазерного источника достаточно высока и ограничивается практически лишь чистотой используемого в качестве мишени материала.

Проведенные исследования по определению температурного режима имплантируемых на разработанной системе образцов показали, что, несмотря на большие мгновенные значения плотности ионного тока, температура образцов не превышает 373К, в то время как в обычных сильноточных установках ионной имплантации повышение температуры пластин является серьезной проблемой.

В установке импульсной ионной имплантации величина ионного тока слабо зависит от типа используемых ионов и, при оптимальной конструкции ионного источника, определяется лишь параметрами используемого лазера (плотностью мощности и частотой следования импульсов лазерной излучения).

Использование лазеров с модулируемой добротностью и фокусирующей системы позволяет создать на мишени плотность мощности падающего лазерного излучения $5 \cdot 10 \text{ Вт/см}^2$, при которой обеспечивается испарение и первичная ионизация практически любого твердого вещества.

Особенностью метода импульсной ионной имплантации является импульсный характер ионного тока. Величина среднего значения ионного тока слабо зависит от типа используемых ионов и лежит в пределах 100-200 мкА.

Из формулы для среднего значения ионного тока:

$$I = I_{\text{мвк}} \cdot ft,$$

можно оценить величину мгновенного значения ионного тока:

$$I_{\text{мвк}} = I / ft,$$

где f – частота следования импульсов, t – длительность импульса тока ионов.

Неоднородность легирования рассчитывалась как отношение среднего квадратичного отклонения к среднему значению поверхностного сопротивления и составила 1%.

Качественный и количественный анализ поверхности полупроводникового материала проводился методом электронной оже-спектроскопии в сочетании с послойным травлением поверхности образца с помощью пучка ионов аргона.

После имплантации на пластинах проводился отжиг при температуре 923 – 1223К, в течение 30 минут, в инертной среде.

Поверхностное сопротивление имплантированного слоя определялось 4-х зондовым методом на установке ИУС-1. Погрешность измерения не превышает 5 %.

Проведенный анализ и экспериментальные исследования показывают, что профили распределения концентрации внедренных ионов в кремний адекватно описываются при использовании моментов более высоких порядков, т.е. функцией Пирсона. Система импульсной ионной имплантации удовлетворяет требованиям современной технологии производства и обеспечивает повышение эффективности технологического процесса формирования приборных структур с заданными параметрами.

ЛИТЕРАТУРА

7 Труды молодых ученых № 1–2, 2012

1. Курносоев А. И., Юдин В. В. Технология производства полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. М: Высшая школа, 1986. 320с.
2. Готра З. Ю. Технология микроэлектронных устройств. М: Радио и связь, 1991. 528с.
3. Горлов М. И., Литвиненко Д. А. Отжиг радиационных и электростатических дефектов полупроводниковых изделий / Микроэлектроника, 2002, №5. С. 352 – 359.

