

ИССЛЕДОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК КРЕМНИЕВЫХ ИМПУЛЬСНЫХ ДИОДОВ

Сопряков В.И., Шлеведа Ю.В.

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

Введение примесей и дефектов для задания свойств полупроводниковых приборов имеет в технологии важнейшее значение, однако их применение может приводить к отрицательным результатам. Известно, что время восстановления обратного сопротивления (τ_B) импульсных диодов зависит от таких факторов, как площадь р-п-перехода, толщина и удельное сопротивление базовой области, концентрация мелкой и глубокой примеси, а также технологии изготовления, определяющей наличие структурных дефектов. Известно также, что τ_B импульсных диодов можно уменьшить путем введения в исходный материал или диодную структуру на стадии изготовления примесей с глубокими уровнями.

Введение глубоких примесей может вызывать, однако, и отрицательные последствия, поскольку они приводят к возрастанию удельного сопротивления материала и существенному увеличению его неоднородности вследствие возникновения флуктуаций краев валентной зоны и зоны проводимости. Перечисленные факторы показывают, что дефектно-примесная технология является процессом тонким и требующим детального контроля физических процессов.

В работе исследовалось влияние температуры диффузии на концентрацию электрически активного золота в эпитаксиальном кремнии n-типа, используемом в производстве импульсных диодов. Эпитаксиальный слой, легированный бором, толщиной 18 мкм ($\rho = 1 \text{ Ом}\cdot\text{см}$, $n = 5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$), был выращен на подложке, легированной сурьмой, толщиной 280 мкм ($\rho = 1 \text{ Ом}\cdot\text{см}$, $n = 10^{18} \text{ см}^{-3}$).

P^+ -п-переходы изготавливались диффузией бора. Введение золота проводилось после создания перехода диффузией из слоя, напыленного на тыловую сторону пластины, в течение одного часа при температурах 950, 1000 и 1050 °С. В качестве контактов напылялся слой алюминия. Для всех температур время диффузии было достаточным для установления равномерного распределения по глубине пластины. На полученных пластинах скрайбировались кристаллы площадью 4 мм².

Концентрация примеси золота (N_{Au}) определялась емкостным методом на основании данных измерения концентрации акцепторного уровня $E_c - 0,55 \text{ эВ}$. Измерялись статические вольт-фарадные характеристики при температуре жидкого азота ($T = 77 \text{ К}$) после заполнения уровня электронами и после его ионизации. Разность концентраций ионизованных примесей, рассчитываемых из наклона вольт-фарадных характе-

ристик, равна концентрации золота. Таким образом были определены $N_{\text{Au}} = 5,4 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ для температуры диффузии золота 950 °С и $N_{\text{Au}} = 1,6 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ для 1000 °С.

Емкость p^+ - n -структур, полученных при температуре диффузии золота 1050 °С, при $T = 77 \text{ К}$ практически не зависела от обратного напряжения, что свидетельствовало о значительной компенсации базовой области. Моделирование эквивалентной схемы диода позволило оценить удельное сопротивление базовой области $\rho = 10^4 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ и $N_{\text{Au}} = 5,4 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$.

График зависимости концентрации электрически активного золота от температуры его диффузии представляет в полулогарифмическом масштабе прямую линию.

Для оценки влияния примеси золота на динамические характеристики исследовались тест-структуры, описанные выше, а также структуры с малой площадью, изготовленные эпитаксиально-планарной технологией с режимом диффузии золота при 1050 °С.

Измерялось время восстановления обратного сопротивления после переключения от прямого тока к обратному или заряд переключения

$$Q_{\text{п}} = \int_0^{\infty} I_{\text{обр}}(t) dt,$$

откуда время переключения $\tau_{\text{п}} = Q_{\text{п}}/I_{\text{пр}}$, где $I_{\text{пр}}$ – значение прямого тока.

Результаты измерений на тест-структурах представлены на рис. 1.

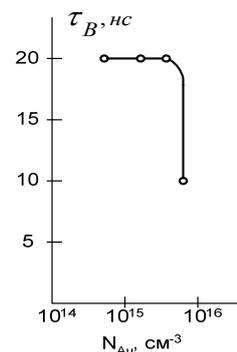


Рисунок 1 – Зависимость τ_B от концентрации электрически активного золота

Как видно, при отношении концентрации золота к концентрации мелких доноров $N_{\text{дм}} = 5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ в базовой области, равном 0,1...0,3 τ_B остается равным 20 нс. В области, где $N_{\text{Au}} \rightarrow N_{\text{дм}}$ τ_B резко уменьшается в два раза. Это уменьшение совпадает с режимом возрастанием

удельного сопротивления базовой области от 1 Ом·см до 10^4 Ом·см вследствие ее компенсации золотом при температуре диффузии 1050 °С. Таким образом, минимальное значение τ_b обеспечивается при температуре диффузии золота 1050 °С.

Исследуемые планарно-эпитаксиальные диоды, полученные при температуре диффузии золота 1050 °С были разделены на три серии: контрольную (К) серию (рис. 2) с оптимальными параметрами ($Q_n \leq 100$ пКл), бракованную (Б) серию ($Q_n = 150 \dots 200$ пКл) и бракованную (S) серию, диоды которой имели вольт-амперную характеристику (ВАХ) S-типа. Низкотемпературные измерения вольт-фарадных характеристик показали в диодах Б-серии $N_{Au} = (1,5 \dots 4,0) \cdot 10^{15}$ см⁻³. Оценка удельного сопротивления базовой области диодов К-серии составила $(0,5 \dots 1,1) \cdot 10^4$ Ом·см. В диодах S-серии удельное сопротивление базовой области оценивалось из наклона начального участка ВАХ и составило $(1 \dots 3) \cdot 10^6$ Ом·см (рис. 3).

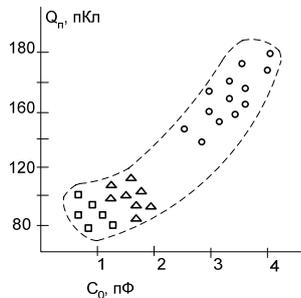


Рисунок 2 – Статистическая зависимость заряда переключения диодов (прямой ток 20 мА) от величины емкости при нулевом напряжении

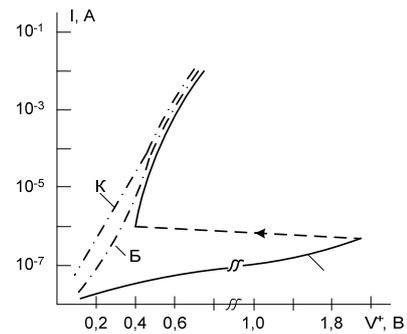


Рисунок 3 – Вольт-амперные характеристики диодов

Приведенные данные показывают, что увеличение ρ базы в диодах К-серии приводит не только к уменьшению Q_n , но и к уменьшению емкости что для импульсных диодов является положительным фактором. С другой стороны о значительном повышении концентрации золота в диодах К-серии свидетельствует увеличение рекомбинационного тока в области 0,1...0,3 В (рис. 3). Таким образом, параметрами диодов, контролирующими минимальный заряд переключения при допустимой ВАХ являются температура диффузии золота 1050 °С и ρ базовой области $(0,5 \dots 1,1) \cdot 10^4$ Ом·см.

Полученные данные показывают, что данный режим является критичным по отношению к однородности распределения электрофизических параметров исходного материала, а также однородности распределения электрически активного золота, поэтому стабильные параметры импульсных диодов могут быть получены только при использовании точной технологии и однородных структурно совершенных материалов.

УДК 621.373.826 – 617-089.844

УСТРОЙСТВО ЭКСИМЕР-ЛАЗЕРНОЙ КОРРЕКЦИИ ЗРЕНИЯ Алексеев В.А., Усольцева А.В., Усольцев В.П., Юран С.И.

Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашикова
Ижевск, Российская федерация

К основным методам и технологиям лазерной коррекции зрения относятся PRK (ФРК-фоторефрактивная кератэктомия), LASIK (лазерный кератомилез), Femto-LASIK (Фемто-ЛАСИК), LASEK (ЛАЗЕК) [1–3].

Устройства для проведения эксимер-лазерной коррекции зрения содержат эксимерный лазер, генерирующий узкий лазерный луч, оптическую отклоняющую систему и управляющий компьютер. В соответствии с заданной программой перемещений луч лазера в сканирующем режиме аблирует роговицу глаза, изменяя ее форму с целью коррекции оптической силы.

Недостатками таких устройств являются:

- невысокое качество обработанной поверхности роговицы, наличие шероховатостей и ре-

фракционных дефектов, что снижает качество получаемого зрения, особенно в сумеречных и ночных условиях;

- наличие неоднородностей поверхности роговицы вследствие больших локальных перепадов лучевой нагрузки между соседними участками роговицы, что увеличивает время заживления роговицы и повышает вероятность возникновения помутнений роговицы при проведении операций широко распространенным методом фоторефракционной кератэктомии (ФРК).

- трудность достижения заданного изменения преломляющих свойств роговицы (в сторону повышения или понижения) для четкой фокусировки изображения на сетчатке с улучшением остроты зрения при дозированном испарении