

06.2

© 1992

ОБРАЩЕННАЯ МЕЗА-СТРУКТУРА
ИЗ КАРБИДА КРЕМНИЯК.В. В а с и л е в с к и й, В.А. Д м и т р и е в,
В.В. Н о в о ж и л о в, А.Л. С ы р к и н,
В.Е. Ч е л н о к о в, А.Е. Ч е р е н к о в

В работе [1] были рассчитаны характеристики импульсного лавинно-пролетного диода (ЛПД) из $6H-SiC$ в миллиметровом диапазоне длин волн. При этом предполагалось, что уровень развития карбид кремниевой технологии позволит решить следующие проблемы: 1) рассеяние большой удельной тепловой мощности, выделяемой в p - n переходе; 2) изготовление меза-структуры с малым сопротивлением подложки R_s ; 3) формирование высокотемпературных контактов к $6H-SiC$ с малым удельным переходным сопротивлением. В настоящее время при изготовлении кремниевых и арсенид галлиевых ЛПД первые два условия выполняются с помощью технологии обращенной меза-структуры на интегральном теплоотводе [2], или мембранной технологии с использованием алмазного теплоотвода [3]. Нами была изготовлена обращенная меза-структура из $6H-SiC$ на медном интегральном теплоотводе.

Эпитаксиальная структура типа n_g (подложка)- n^+ - n - p^+ была изготовлена методом бесконтейнерной жидкофазной эпитаксии [4]. Все слои были выращены в одном технологическом процессе на (0001) Si -границе $6H-SiC$ подложки, выращенной по методу Лелли. Донорной примесью служил азот, акцепторной - алюминий. Первоначально на подложке был выращен толстый (больше высоты будущей меза-структуры) сильно легированный n^+ -слой (буферный слой). Легирование n^+ -слоя осуществляли дозированным введением в ростовую камеру газообразного азота. Рост проводили с принудительным охлаждением раствора-расплава. Во время роста температуру расплава кремния снижали до температуры, при которой скорость роста составляла 0.1 мкм/мин. После этого давление в камере понижали и выращивали тонкий p -слой. Уровень легирования p -слоя (N_D) задавали парциальным давлением азота в ростовой камере. Для перекомпенсации донорной примеси и получения p^+ -слоя в расплав вводили алюминий.

Толщина буферного слоя измерялась по низкотемпературной фотолюминесценции на торце пластины и составляла 30 мкм. Концентрация донорной примеси в буферном слое была равна $2 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$. Толщины p^+ - и p -слоев (соответственно W_p и W_n) измеряли по шар-шлифу. На рис. 1, а приведена фотография декорированного шар-шлифа эпитаксиальной структуры n_g (подложка)- p^+ - p - p^+ .

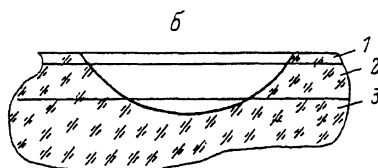
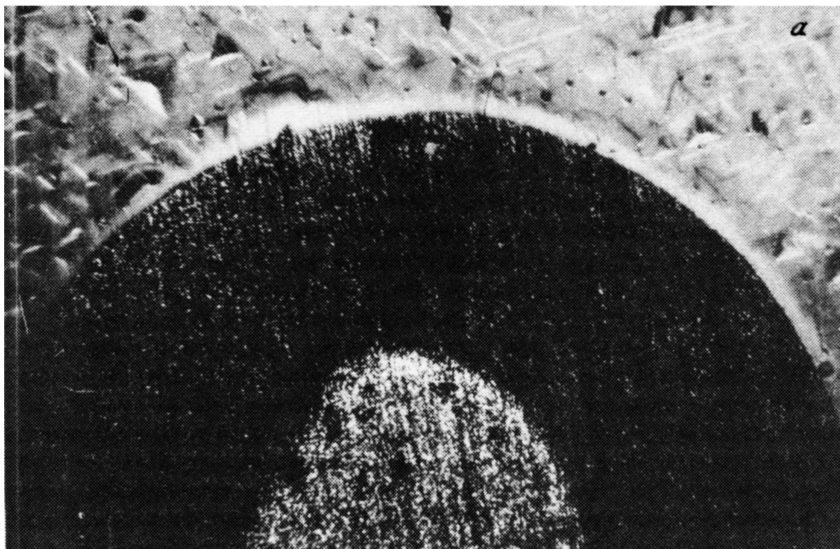


Рис. 1. Фотография (а) и схема (б) декорированного шар-шлифа трехслойной эпитаксиальной структуры n_p (подложка)– p^+ – p – p^+ на Si -границе $6H-SiC$. 1 – p^+-SiC , 2 – $p-SiC$, 3 – p^+-SiC .

Светлое кольцо по краю сферического углубления – неокрашенный p^+ -слой ($w_p = 0.2$ мкм), темное кольцо – слабо окрашенный p -слой ($N_D = 1.5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, $w_n = 1.8$ мкм), и светлый круг в центре – сильно окрашенный p^+ -слой ($N_D = 2 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$). Концентрацию доноров и толщину p -слоя измеряли по вольт-фарадным характеристикам гетеро-структур и задавали таким образом, чтобы при напряжении, близком к пробивному, достигалось полное обеднение базы диода.

Омический контакт к p^+ -слою изготавливали напылением алюминия толщиной 0.5 мкм. После этого на пластине со стороны p^+ -слоя гальванически выращивали медный теплопровод толщиной 80 мкм, а карбид кремния со стороны подложки удаляли до толщины 10 мкм. После изготовления контакта к p^+ -слою карбида кремния, на него наносили напылением слой алюминия толщиной 2 мкм. Межа-структуры площадью $5 \times 10^{-5} \text{ см}^2$ были сформированы реактивным ионно-плазменным травлением [5]. Таким образом, были получены обращенные межа-структуры из $6H-SiC$ на медном инте-

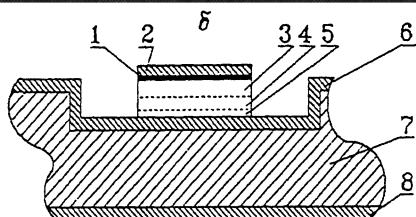
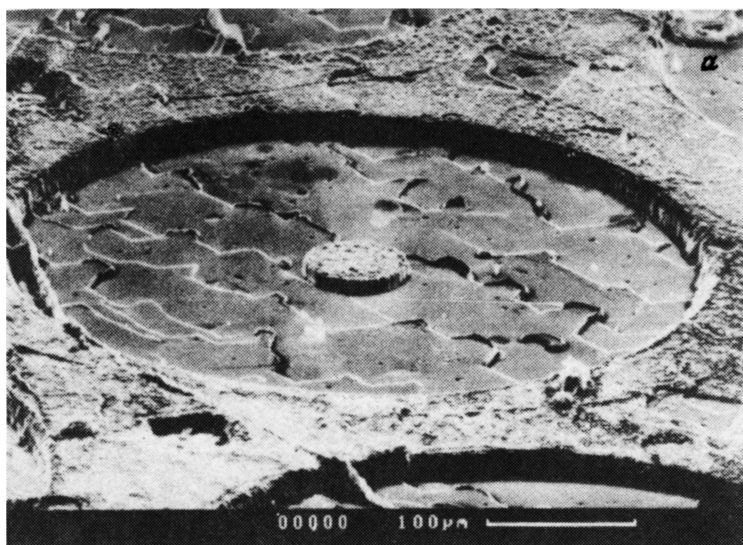


Рис. 2. РЭМ-фотография (а) и схема (б) обращенной меза-структуры из карбида кремния на интегральном медном теплоотводе. 1 - контакт к p^+-SiC , 2 - Al , 3 - p^+-SiC , 4 - $n-SiC$, 5 - p^+-SiC , 6 - контакт к p^+-SiC , 7 - Cu , 8 - $Ni-Au$.

интегральном теплоотводе (рис. 2). Расстояние между плоскостью рп-перехода и медным теплоотводом равно 0,5–1 мкм, что обеспечивает хорошее рассеяние выделяемого в рп-переходе тепла. Так как высота структуры меньше толщины буферного слоя, R_s не зависит от степени легирования исходной подложки и определяется уровнем легирования буферного слоя. Для проведения электрических измерений медный теплоотвод разделяли на чипы диаметром 400 мкм, которые термокомпрессией монтировали в стандартный металлорубиновый корпус.

Изготовленные таким образом диоды имели резкий лавинный пробой при напряжениях от 35 до 180 В в зависимости от уровня легирования n -слоя. Предпробойные обратные токи при этом были не более 5×10^{-9} А. Через диоды с пробивным напряжением 35–40 В был пропущен импульсный ток в режиме лавинного пробоя. Длительность импульса тока составляла 100 нс, плотность тока – 20 кА/см^2 . Удельная рассеиваемая мощность при этом была равна $8 \times 10^5 \text{ Вт/см}^2$.

Таким образом, нами изготовлены диоды с обращенными меза-структурами из 6H-SiC на медном теплоотводе, имеющие резкий лавинный пробой и малые предпробойные токи утечки. Такие диоды могут быть использованы для исследования СВЧ характеристик рп-перехода, сформированного на Si -границе 6H-SiC , при протекании через него лавинного тока с большой плотностью.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Василевский К.В. Исследование динамических характеристик ЛПД на карбиде кремния // Тез. докладов 1 Украинского симпозиума „Физика и техника миллиметровых и субмиллиметровых волн“, Харьков, 15–17 октября 1991, Харьков, 1991, часть 1. С. 172–173.
- [2] Дворниченко В.П., Ефанов Н.Н., Карушкин Н.Ф., Ницевич В.И., Смородин В.В. // Электронная техника. Сер. Электроника СВЧ, 1990, выш. 10 (434). С. 26–29.
- [3] Eisele H. // Microwave Journal. 1991. N 5. P. 275–282.
- [4] Дмитриев В.А., Иванов П.А., Стрельчук А.М., Сыркин А.Л., Попов И.В., Челноков В.Е. // Письма в ЖТФ. 1985. Т. 11. В. 16. С. 976–978.
- [5] Попов И.В., Сыркин А.Л., Челноков В.Е. // Письма в ЖТФ. 1986. Т. 12. В. 4. С. 240–243.

Поступило в Редакцию
30 ноября 1992 г.