

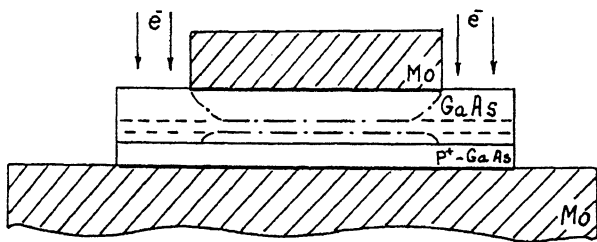
06.2;06.3;12

©1994

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ ДЛЯ УСТРАНЕНИЯ ПРОБОЯ В ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ GaAs ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРАХ

В.В.Козловский, С.И.Пономарев, И.А.Козловская

Слабо легированный GaAs, получаемый методом выращивания из раствора-расплава, является основой для разрабатываемых импульсных тиристоров с повышенным быстродействием при включении. Учет особенностей формирования пространственного заряда ОПЗ арсенидгаллиевых $p-n$ переходов позволил создать тиристорные структуры с рабочим напряжением 800 В [1]. Однако предложенные конструкции, устраняя поверхностный и динамический прокол базовых областей, не исключают возможность поверхностного пробоя коллекторного перехода, что ограничивает диапазон рабочих напряжений и снижает надежность приборов. Традиционные методы борьбы с поверхностным пробоем, хорошо зарекомендовавшие себя при изготовлении кремниевых приборов, — профилирование, химическая обработка и защита боковой поверхности [2], — для арсенидгаллиевых $p-n$ переходов, как правило, оказываются недостаточно эффективны и не позволяют решить проблему полностью. В последнее время широкое развитие в полупроводниковой электронике находят радиационные методы. В частности, для создания на поверхности GaAs полуизолирующего слоя микронных толщин в приборах СВЧ и опто-



Высоковольтная арсенидгаллиевая $p-n$ структура.

электроники предлагается использовать протонное облучение [3,4]. В настоящей работе создание полуизолирующего GaAs толщиной до сотни микрометров радиационным методом предлагается использовать для устранения поверхностного пробоя высоковольтных $p-n$ структур.

Исследуемые $p^+ - p^0 - n^+$ диодные структуры с концентрацией основных носителей заряда в слабо легированном слое менее 10^{15} см^{-3} выращивались из ограниченного объема раствора-расплава GaAs в Ga по методике, описанной в [1]. В качестве подложки использовался монокристаллический $p\text{-GaAs:Zn}$, ориентированный в плоскости $\{100\}$. Контакты к структуре создавались методом химического никелирования. Площадь экспериментальных образцов составляла 10 мм, толщина подложки 300 мкм, слабо легированного слоя ~ 100 мкм.

Изготовленные диодные структуры (см. рисунок) подвергались облучению электронами с энергией 1 МэВ на ускорителе РТЭ-1В или протонами с энергией 5 МэВ на циклотроне МГЦ-20. На структурах до и после облучения контролировалась прямая и обратная ветвь вольт-амперной характеристики (ВАХ), ток при обратном смещении $p-n$ перехода и время восстановления. Кроме того, исследовалось положение и конфигурация области пространственного заряда (ОПЗ) по наблюдению электрооптического эффекта при прохождении плоскополяризованного инфракрасного света через кристалл в плоскости, параллельной $p-n$ переходу [5].

Рисунок иллюстрирует изменение конфигурации границ ОПЗ $p-n$ перехода после облучения образца. Здесь штриховой линией представлены границы ОПЗ до облучения, а штрихпунктирной — после облучения. Как следует из рисунка, границы ОПЗ в активной области структуры, защищенной термокомпенсатором, сохраняют свое первоначальное положение. По мере приближения к облученной, периферийной части, границы изгибаются, а толщина ОПЗ увеличивается. Таким образом, облучение структуры приво-

№	До облучения			После облучения		
	$V_{обр}, В$	$t_{восст}, нс$	$V_{пр}, В$	$V_{обр}, В$	$t_{восст}, нс$	$V_{пр}, В$
1	825	230	1.5	1200	220	2.2
2	900	220	1.5	1375	210	2.4
3	790	200	1.9	1300	190	2.4
4	840	210	1.6	1225	180	2.2
5	650	210	1.7	1225	180	2.2

дит к созданию локальных сильно компенсированных полуизолирующих областей на периферии образца и значительному уменьшению напряженности поля на поверхности.

В таблице представлены параметры серий экспериментальных образцов до и после облучения электронами дозой $1 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$.

На всех облученных диодных структурах подача напряжения 750–900 В приводит к нестабильности ВАХ и искрению на боковой поверхности кристалла, а дальнейшее повышение напряжения — к резкому необратимому возрастанию тока утечки. Облучение электронами дозой $1 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ качественно меняет вид ВАХ: нестабильность исчезает, зависимость $I(U)$ в интервале малых смещений приобретает явно выраженный наклон, появляется возможность подачи больших смещений, вплоть до 1300–1400 В. Облучение структур протонами с энергией 5 МэВ дозами $1 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$ также приводит к устранению поверхностного пробоя. Энергии как протонов, так и электронов выбирались из необходимости создания полуизолятора толщиной не менее 10 мкм. Однако при энергии протонов, больших 1 МэВ, в материалах начинают проходить ядерные реакции и облученные образцы имеют наведенную радиоактивность. Для электронного облучения пороги ядерных реакций составляют значения больше 10 МэВ и образцы после облучения электронами с энергий 1 МэВ являются нерадиоактивными [6]. Поэтому обработка электронами является более предпочтительной, чем протонами.

Сопоставление прямой ветви ВАХ структур до и после облучения показывает, что создание полуизолирующего GaAs в периферийной области структуры приводит к некоторому увеличению падения прямого напряжения при фиксированном токе. Это связано с уменьшением активной площади структуры и увеличением плотности тока, а не с изменением электрофизических характеристик диодной структуры. Действительно, время восстановления диодных структур, как следует из таблицы, практически не меняется после облучения, а этот параметр весьма чувствителен

к присутствию радиационных дефектов, в то время как изменение плотности тока в исследуемом диапазоне температур на него практически не влияет. Можно сделать вывод, что используемые в качестве защиты от быстрых электронов термокомпенсаторы достаточно хорошо предохраняют активную область диодов.

Таким образом, оптимизация условий электронного облучения позволяет сформировать в периферийной части структуры полуизолирующий GaAs, устранить нестабильность ВАХ и поднять рабочее напряжение приборов с 700–800 до 1300–1400 В.

В заключение авторы выражают благодарность Р.С.Осиповой и Я.Я.Пилькевичу за помощь в экспериментальной работе.

Список литературы

- [1] Алферов Ж.И., Корольков В.И., Никитин В.Г., Степанова М.Н., Третьяков Д.Н. // Письма в ЖТФ. 1984. Т. 2. В. 5. С. 201–204.
- [2] Задиранов Ю.М., Корольков В.И., Пономарев С.И. // ЖТФ. 1987. Т. 57. В. 4. С. 771–777.
- [3] Matsumura H., Stephens K.G. // J. Appl. Phys. 1977. V. 48. N 7. P. 2779–2783.
- [4] Козловский В.В., Абросимова В.Н. Легирование материалов $Al_{1-x}In_xV$ радиационными дефектами. Препринт ИПТМ РАН. Черноголовка, 1991. 31 С.
- [5] Корольков В.И., Красавин В.Н., Пономарев С.И., Целиев Г.И. // ФТП. 1985. Т. 19. В. 2. С. 328–331.
- [6] Немец О.Ф., Гофман Ю.В. Справочник по ядерной физике. Киев: Наукова думка, 1975. 415 с.

Научно-исследовательский
институт "Гириконд"
Санкт-Петербург

Поступило в Редакцию
2 декабря 1993 г.