

06.2

## **Облучение рентгеновским излучением планарно-диффузионных симисторных структур как метод повышения магниточувствительности**

© С.И. Воронцов, С.Б. Бакланов, Н.Т. Гурин, С.Г. Новиков

Ульяновский государственный университет

E-mail: svast@sv.ulsu.ru

Поступило в Редакцию 26 марта 2002 г.

Предложен метод повышения магниточувствительности (МЧ) планарно-диффузионных симисторов (ПДС) посредством облучения структур рентгеновским излучением. Показано, что наряду с облучением повышение МЧ свойств также осуществляется внесением поверхностных дефектов механическим путем. Исследованы процессы и механизмы, влияющие на повышение указанных свойств в условиях действия ряда гальваномагнитных эффектов.

Гальваномагнитные приборы являются элементной базой одного из перспективных направлений современной электроники — магнитоэлектроники. К ним относятся приборы, действие которых основано на использовании эффектов, возникающих при одновременном воздействии на полупроводник электрического и магнитного полей. Наиболее широко распространенными представителями этого класса приборов являются датчики ЭДС Холла и магниторезисторы, а также магнитодиоды, однопереходные и биполярные магнитотранзисторы, магнитотиристоры, приборы на основе гальваномагниторекомбинационного эффекта [1], разработанные и нашедшие практическое применение в последние десятилетия. В свою очередь, вызывают интерес разработки в области создания магнитосимисторов (приборов с симметричными вольт-амперными характеристиками (ВАХ) S-типа) и возможность применения их как двунаправленных приборов при создании ряда устройств, работающих на постоянном и переменном токе: бесконтактных переключателей, электронных компасов, считывающих магнитных головок, бесколлекторных электродвигателей и т.п. [1].

Основой для создания магнитосимисторов могут служить известные планарно-диффузионные симисторные структуры [2]. При этом технология повышения МЧ ПДС базируется на методе радиационного облучения структур [3,4] с целью создания необходимых поверхностных дефектов, увеличивающих скорость поверхностной рекомбинации  $s$  — одного из основных параметров, определяющих величину МЧ ПДС.

Ранее авторами было проведено исследование радиационной модификации симисторных оптопар на основе ДПС при  $\alpha$ - и  $\beta$ -облучении [4], а также при воздействии электронами с энергией 30 keV [3], в ходе которых удалось существенно повысить МЧ данных приборов. Поэтому рассматриваемые в работе результаты отражают очередной этап исследований в этой области с использованием новых источников генерации дефектов в приповерхностном слое структуры ПДС.

Задача повышения МЧ ПДС решалась путем облучения структур рентгеновским излучением с целью создания радиационных дефектов, влияющих на усиление ряда гальваномагнитных эффектов.

В качестве объектов исследования были отобраны два образца ПДС с гальваническим управлением (подачей управляющего тока на  $p$ -базу), изготовленных на конструктивно-технологической базе Ульяновского радиолампового завода. При этом поверхность одного симистора (образец № 1) была покрыта слоем компаунда ОП-432 толщиной порядка  $50 \mu\text{m}$  с целью надежной фиксации гибких проволочных проводников от контактов структуры (это одна из базовых технологических операций, реализуемых при серийном производстве подобных полупроводниковых приборов).

Вторая симисторная структура (образец № 2) — это ПДС с гальваническим управлением без защитного слоя компаунда. С целью увеличения МЧ свойств образца № 2 и внесения дополнительных поверхностных дефектов механическим путем вдоль оси симметрии структуры (границы раздела тиристоры) с помощью алмазного резца был сделан канал, ширина и глубина которого составляли порядка 200 и  $50 \mu\text{m}$  соответственно.

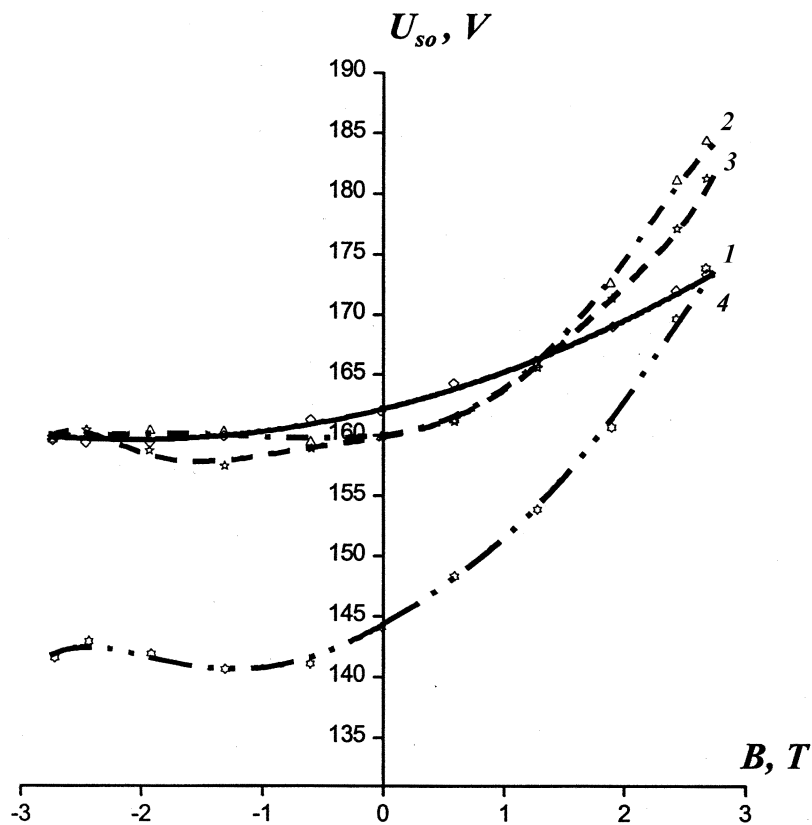
Проявление МЧ у серийных многослойных полупроводниковых структур, таких как тиристоры и симисторы, является относительно слабым, поскольку связано с малой зависимостью коэффициентов передачи тока составляющих транзисторов от индукции магнитного поля и скорости поверхностной рекомбинации [5].

До облучения структуры были исследованы на наличие у них МЧ, в том числе и в режиме подачи управляющего тока. Образец № 1, помещенный во внешнее магнитное поле  $B$ , имел крайне низкую МЧ даже при максимальном токе управления. У образца № 2 (с механически созданным каналом) наблюдалась относительно высокая чувствительность к внешнему магнитному полю, сравнимая со значениями этого параметра у серийно выпускаемых гальваномагнитных приборов. Так, в диапазоне магнитного поля от  $-1$  до  $1$  Т максимальное значение вольтовой МЧ составило  $12$  В/Т при токе управления  $I_g = 2.36$  мА.

За счет внесения поверхностных дефектов в структуру интенсивность генерационно-рекомбинационных процессов на поверхности оказывается существенно выше, чем в объеме структуры. Во внешнем магнитном поле  $B^+$  (обозначение положительного направления выбрано условно), в случае, когда сила Лоренца  $F_L$  отклоняет носители заряда к поверхности, происходит их сильная рекомбинация, следствием которой являются увеличение сопротивления  $n$ -базы и снижение коэффициента передачи „продольного“  $pnp$ -транзистора, приводящие к увеличению напряжения переключения  $U_{so}$  в зависимости от возрастания величины магнитного поля за счет магнитоконцентрационного эффекта. При изменении направления магнитного поля на противоположное ( $B^-$ ) носители от верхней поверхности с высокой скоростью генерации отклоняются в глубь полупроводника с малой скоростью рекомбинации, что приводит к увеличению концентрации носителей, участвующих в токе базы  $pnp$ -транзистора, и соответствующего коэффициента передачи. В результате напряжение переключения уменьшается.

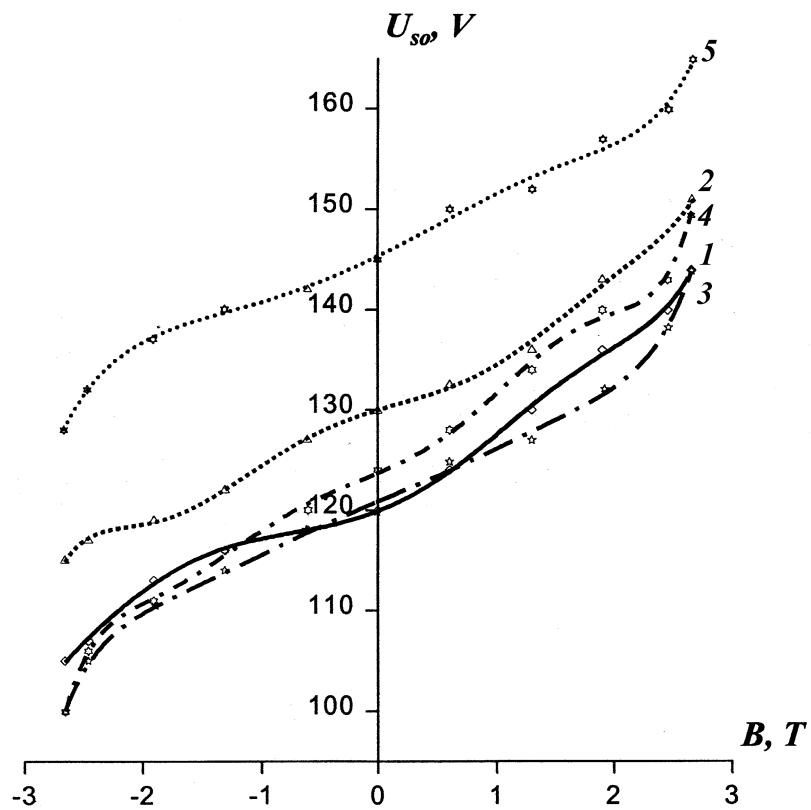
В ходе исследований образцы № 1 и 2 подверглись рентгеновскому облучению при напряжении трубки  $100$  кВ в условиях комнатной температуры. Интенсивность облучения составляла  $9.6 \cdot 10^{11} \text{ s}^{-1} \cdot \text{cm}^{-2}$ .

После облучения образца № 1 изменение основных статических параметров на ВАХ ПДС оказалось несущественным. На рис. 1 приведены зависимости напряжения переключения  $U_{so}$  от индукции внешнего магнитного поля  $B$  до и после рентгеновского облучения. Суммарная доза —  $10^{16} \text{ cm}^{-2}$ . Сравнивая характер этих зависимостей, можно отметить значительное увеличение МЧ свойств ПДС. При положительном направлении индукции магнитного поля  $B^+$  изменение МЧ проявляется сильнее, чем при отрицательном направлении  $B^-$ , что свидетельствует о полярном характере проявления МЧ.



**Рис. 1.** Вольт-тесловые характеристики образца № 1 при токе управления  $I_g = 2 \text{ mA}$  до и после облучения рентгеновским излучением в зависимости от дозы облучения: 1 —  $D = 0$ ; 2 —  $D = 3 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ ; 3 —  $D = 7 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ ; 4 —  $D = 1 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ .

Облучение рентгеновским излучением образца № 2 проводилось в несколько этапов при тех же условиях. Суммарная доза составила  $2 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ . Облучение не привело к значительному изменению статических параметров ВАХ образца и к ощутимому изменению его МЧ-свойств. Возможно, что в этом случае дополнительного изменения баланса между генерационно-рекомбинационными процессами на



**Рис. 2.** Вольт-тесловые характеристики образца № 2 при токе управления  $I_g = 2.28 \text{ mA}$  до и после облучения рентгеновским излучением в зависимости от дозы облучения: 1 —  $D = 0$ ; 2 —  $D = 7 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ ; 3 —  $D = 9 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ ; 4 —  $D = 1 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ ; 5 —  $D = 2 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ .

поверхности образца и в объеме не произошло и влияние магнитоцентрирования эффекта не усилилось (рис. 2). При облучении образца, не защищенного компаундом, радиационные дефекты генерируются по всей глубине залегания  $p$ -областей облучаемой структуры ПДС [6]. При этом доля радиационно-генерированных поверхностных дефектов относительно невелика по сравнению с дефектами, созданными меха-

ническим путем, и коэффициент передачи  $r_{pr}$ -транзистора изменяется незначительно. Следовательно, не наблюдается и существенного изменения МЧ-свойств исследуемого образца.

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

— метод радиационной модификации структуры планарных симисторов посредством рентгеновского облучения позволяет существенно повысить чувствительность симисторов к внешнему магнитному полю, а результаты его применения подтверждают проявления общей закономерности данного метода при использовании различных типов радиационных источников;

— повышение МЧ свойств исследуемых ПДС может быть осуществлено как с помощью метода радиационной модификации структуры, так и механическим путем;

— проявление МЧ радиационно-модифицированной структуры ПДС основано на изменении зависимости коэффициента передачи  $r_{pr}$ -транзисторов от магнитного поля в условиях действия магнитоконцентрационного эффекта;

— подачей управляющего воздействия можно задавать диапазон изменения МЧ радиационно-модифицированных ПДС;

— ПДС обладают высокой радиационной стойкостью.

## Список литературы

- [1] Стафеев В.И., Каракушан Э.И. Магнитодиоды. Новые полупроводниковые приборы с высокой чувствительностью к магнитному полю. М.: Наука, 1975. С. 216.
- [2] Патент РФ № 2022412. Фотосимистор на основе полупроводниковой структуры / Бакланов С.Б., Гайтан В.В., Гурин Н.Т. // Б.И. 1994. № 20.
- [3] Воронцов С.И., Бакланов С.Б., Новиков С.Г. и др. // Уч. зап. УлГУ. Сер. физ. 2000. В. 2(9). С. 86–91.
- [4] Гурин Н.Т., Бакланов С.Б., Новиков С.Г. и др. // ПЖТФ. 2000. Т. 27. В. 8. С. 53–57.
- [5] Викулин И.М., Викулина Л.Ф., Стафеев В.И. Гальваномагнитные приборы. М.: Радио и связь, 1983. С. 104.
- [6] Першенков В.С., Попов В.Д., Шальнов А.В. Поверхностные радиационные эффекты в элементах интегральных микросхем. М.: Энергоатомиздат, 1988. С. 256.