

Краткие сообщения

06;12

Влияние ионизирующих излучений на магниточувствительные свойства планарных симисторов

© А.В. Косихин, С.Б. Бакланов, С.Г. Новиков, Н.Т. Гурин

Ульяновский государственный университет,
432970 Ульяновск, Россия
e-mail: kosihinav@ulsu.ru

(Поступило в Редакцию 15 марта 2006 г.)

Рассматриваются изменения магниточувствительных свойств многослойных полупроводниковых приборов, таких как планарно-диффузионные симисторы (ПДС), обусловленные дефектами смещения и ионизации посредством радиационного облучения структур. Выявлено, что в результате облучения возможно существенное повышение магниточувствительности ПДС. Исследованы процессы и механизмы, влияющие на повышение магниточувствительности в условиях действия ряда гальваномагнитных эффектов.

PACS: 75.50.Pp, 81.40.Wx

Прохождение частиц ионизирующего излучения через какую-либо среду сопровождается их взаимодействием с атомами вещества. Результатом взаимодействия является передача энергии частицы окружающей среде. Дальнейшая релаксация полученной энергии и распределение ее по объему вещества происходят в форме радиационных эффектов, под которыми понимают явления, состоящие в изменении параметров, характеристик и свойств структуры в результате воздействия ионизирующего излучения. Известно, что внесение радиационных дефектов в структуру влияет на электрофизические параметры полупроводников, наиболее существенные — концентрация основных носителей заряда, подвижность носителей заряда, удельное сопротивление и время жизни носителей заряда. Соответственно изменяются интегральные параметры структуры, определяемые указанными величинами, одним из которых является магниточувствительность (МЧ).

Проявление МЧ у многослойных полупроводниковых структур, в том числе у тиристоров и симисторов, слабое, поскольку связано с малой зависимостью коэффициентов передачи тока составляющих транзисторов от индукции магнитного поля [1]. Целью исследований было изучение влияния на МЧ трех источников ионизирующего излучения: бомбардировка α -частицами, электронное и рентгеновское облучение. В качестве облучаемых макетных образцов планарно-диффузионных симисторов (ПДС) использовались интегральные модули маломощных копланарных тиристорных структур типа 2У106, образованных в общем объеме полупроводника и имеющих встречно-параллельное соединение с помощью внешней коммутации (рис. 1). Необходимо отметить, что при дальнейшем рассмотрении индукцию магнитного поля, отклоняющего носители заряда к верхней поверхности (границы с контактами), будем условно обозначать B^+ , индукцию противоположного направления — B^- .

До облучения исследуемые образцы ПДС не реагировали на действие постоянного магнитного поля вплоть до значений 2 Т либо имели относительно низкую магниточувствительность (порядка 1 В/Т) даже при максимальном токе управления. Радиационная обработка одних образцов ПДС проводилась со стороны верхней поверхности структуры α -частицами от радиоизотопного источника на основе Sm^{244} (кюрия-244) при комнатной температуре. При высоком уровне энергии бомбар-

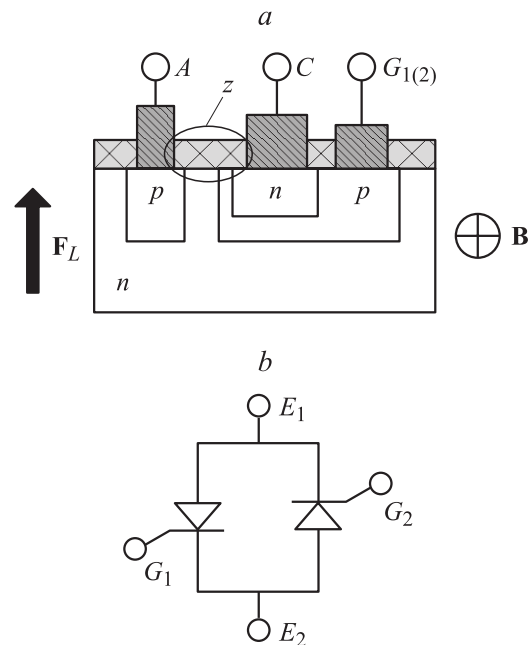


Рис. 1. Структура планарно-диффузионного тиристора (а); схема встречно-параллельного соединения составляющих тиристоров с общим n -базовым слоем (б); А — анод, С — катод, $G_{1(2)}$ — управляющий электрод тиристоров; E_1 , E_2 и G_1 , G_2 — силовые и управляющие электроды ПДС соответственно.

дирующих частиц ($E_\alpha \approx 4 \text{ MeV}$) и большого флюенса ($\Phi = 5.6 \cdot 10^{11} \text{ cm}^{-2}$), существенное изменение МЧ образцов не наблюдалось [2]. Другие образцы ПДС были подвергнуты воздействию электронов. Для облучения использовался источник электронов с энергией $E_e \approx 30 \text{ keV}$. В ходе эксперимента обеспечивалось облучение только заданной области в составе топологически сложной структуры ПДС. Площадь облученного участка составила порядка $5.31 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^2$.

Выявлено, что облучение электронами существенно повлияло на магниточувствительные свойства исследованных ПДС. В частности, облучение позволило увеличить напряжение переключения структуры U_s почти в 2 раза при отсутствии тока управления и в 1.5 раза при токе управления $I_g = 2.6 \text{ mA}$. После электронной обработки (флюенс $\Phi = 10^{16} \text{ cm}^{-2}$) МЧ заметно повысилась и достигла значения 30 V/T . Полученные результаты обусловлены преимущественной генерацией радиационных дефектов на границе между кремниевой структурой прибора и защитным оксидным покрытием на ее поверхности, которые усиливают зависимость коэффициента передачи продольного rnr -транзистора от B . При электронном облучении верхней поверхности структуры ПДС высокая концентрация дефектов и соответственно высокая плотность поверхностных состояний в запрещенной зоне кремния обусловлены ионизационными эффектами и создаются главным образом в приповерхностных слоях на границе с оксидным покрытием.

Когда магнитное поле (B^+) ориентировано так, что неосновные носители отклоняются к этой поверхности, наблюдается их сильная рекомбинация, следствием которой является снижение коэффициента передачи rnr -транзистора, поскольку уменьшается время жизни носителей заряда, диффузионной длины и доля носителей, прошедших через p -базу. Все это приводит к наблюдаемому росту напряжения переключения. При изменении направления магнитного поля (B^-) носители накапливаются у противоположной поверхности образца с относительно малой скоростью рекомбинации, т.е. „отсасываются“ от поверхности с большой скоростью генерации. Это приводит к тому, что происходит возрастание времени жизни носителей, увеличение длины диффузионного пробега за счет силы Лоренца и увеличение доли носителей, прошедших через базовую p -область. Иными словами, происходит увеличение коэффициента передачи через базу rnr -транзистора, и напряжение переключения уменьшается. На рис. 2 представлена зависимость вольтовой МЧ γ_U ПДС от индукции магнитного поля B . При увеличении тока управления происходит рост вольтовой МЧ, причем при всех значениях тока управления структура ПДС проявляет сильную чувствительность к направлению магнитного поля.

В случае же α -обработки радиационные дефекты, вызванные преимущественно атомными смещениями, генерируются равномерно (в силу диффузности источника) по всей глубине облучаемого слоя (до $\sim 12 \mu\text{m}$), соизмеримой с глубиной залегания диффузионных p -областей

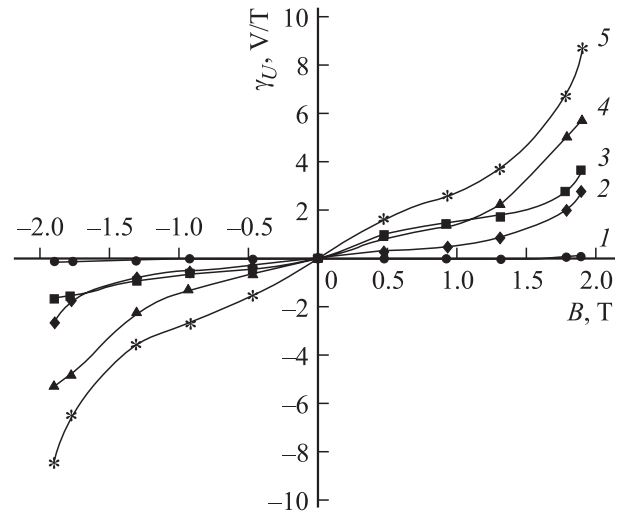


Рис. 2. Зависимость вольтовой магниточувствительности ПДС от индукции магнитного поля после облучения электронами: 1 — $I_g = 0$; 2 — 4.0; 3 — 4.8; 4 — 5.0; 5 — 5.2 мА.

структуры. При этом поверхностные эффекты от разрыва напряженных связей и последующих атомных смещений относительно невелики, и коэффициент передачи rnr -транзистора изменяется незначительно. Следовательно, не наблюдается и существенное изменение основного эксплуатационного параметра ПДС — U_s .

Следующие образцы подверглись рентгеновскому облучению при напряжении трубки 100 kV в условиях комнатной температуры. Интенсивность облучения составила $9.6 \cdot 10^{11} \text{ s}^{-1} \text{ cm}^{-2}$, а суммарная доза — 10^{16} cm^{-2} . На рис. 3 приведены зависимости напряжения переключения U_s от индукции внешнего магнитного поля B до и после рентгеновского облучения.

Сравнив характер этих зависимостей, можно отметить значительное увеличение магниточувствительных

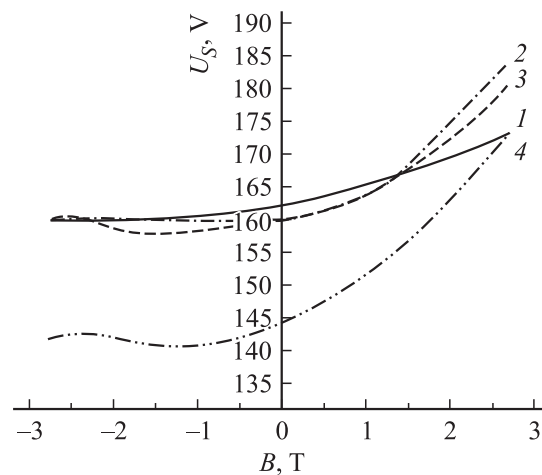


Рис. 3. Вольт-тесловые характеристики при токе управления $I_g = 2 \text{ mA}$ до (1) и после (2, 3, 4) облучения в зависимости от флюенса: 2 — $\Phi = 7.6 \cdot 10^{15}$; 3 — $9.3 \cdot 10^{15}$; 4 — $1.6 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-2}$.

свойств ПДС [3]. Следует заметить, что при положительном направлении индукции магнитного поля B^+ изменение МЧ проявляется сильнее, чем при отрицательном B^- . Таким образом, основным процессом, стимулирующим магниточувствительность ПДС при их радиационной модификации, является дефектообразование структуры и, как следствие, изменение генерационно-рекомбинационного баланса на поверхности (границе Si–SiO₂), вызванное преимущественно ионизационными эффектами. Напротив, дефекты структуры за счет атомных смещений (при α -облучении) существенно не влияют на магниточувствительные свойства ПДС. Проведенные исследования также позволяют сделать предварительную оценку радиационной устойчивости планарных симисторов в ходе последовательного увеличения дозы. После облучения α -частицами ($E_\alpha \approx 4$ MeV, суммарный флюенс $\Phi = 5.6 \cdot 10^{11}$ см⁻²) статические характеристики ПДС практически не изменились, тогда как облучение дискретного транзистора флюенсом $\Phi = 1.5 \cdot 10^{11}$ см⁻² ($E_\alpha \approx 2.8$ MeV) привело к уменьшению его коэффициента усиления на порядок. После облучения образцов ПДС электронами ($E_e \approx 30$ keV, суммарные флюенс $\Phi = 10^{16}$ см⁻²) напряжение U_s с ростом дозы увеличилось со 175 до 350 В, наряду с этим возросли значения тока включения от 0.2 до 2 мА и тока удержания от 1.1 до 34 мА, что свидетельствует о расширении диапазона блокирующей способности ПДС. При радиационной модификации поверхности и соответственно возникновении области с повышенной скоростью поверхностной рекомбинации, с одной стороны, изменяются параметры симисторной структуры, а с другой — усиливается проявление магнитоконцентрационного эффекта, что способствует увеличению магниточувствительности. На основании исследования магниточувствительных свойств симисторных структур выявлено, что путем радиационного облучения электронами, а также при подаче тока управления можно не только существенно повысить магниточувствительность ПДС, но и задавать диапазон изменения его магниточувствительных свойств.

Список литературы

- [1] Викулин И.М., Викулина Л.Ф., Стафеев В.И. Гальваномагнитные приборы. М.: Радио и связь, 1983. 104 с.
- [2] Бакланов С.Б., Новиков С.Г., Гурин Н.Т. и др. // LIV Научная сессия, посвященная дню радио. Тез. докл. М.: Изд-во РНТОРЭС им. А.С. Попова, 1999. С. 87.
- [3] Першенков В.С., Попов В.Д., Шальнов А.В. Поверхностные радиационные эффекты в элементах интегральных микросхем. М.: Энергоатомиздат, 1988. 256 с.