

Д. т. н. Л. Ф. ВИКУЛИНА, П. Ю. МАРКОЛЕНКО,  
О. Б. ШЕВЧУК

Украина, г. Одесса, Украинская гос. академия связи  
им. А. С. Попова

Дата поступления в редакцию  
30.05 2000 г.  
Оппонент к. ф.-м. н. В. И. ИРХА,  
д. ф.-м. н. Ш. Д. КУРМАШЕВ

## ДЕЙСТВИЕ РАДИАЦИИ НА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ МАГНИТОТРАНЗИСТОРОВ ИЗ ВЫСОКООМНОГО КРЕМНИЯ

*Исследовано влияние облучения нейтронами и гамма-квантами на чувствительность магнитотранзисторов из высокоомного кремния р-типа.*

Магниточувствительные транзисторы серийно выпускаются электронной промышленностью, однако действие радиации на их характеристики практически не исследовано.

Исследование воздействия радиации на характеристики магниточувствительных элементов представляет интерес как с точки зрения работы элементов в условиях радиационного облучения, так и с точки зрения направленного изменения параметров элементов путем их облучения. При облучении полупроводника высокоэнергетическими частицами (электроны, гамма-кванты, нейтроны и протоны) в полупроводнике возникают дефекты типа вакансий и междоузельных атомов, сохраняющиеся и после воздействия радиации. Рассеяние подвижных носителей на дефектах приводит к уменьшению подвижности основных и неосновных носителей заряда, а также к уменьшению времени жизни неосновных носителей заряда [1, 2]. Обычно возникающие комплексы дефектов компенсируют основную легирующую примесь и уменьшают концентрацию основных носителей, что в совокупности с уменьшением подвижности приводит к росту удельного сопротивления полупроводника.

Наибольшие изменения электрофизических параметров полупроводника происходят при облучении

тяжелыми частицами — нейтронами или протонами. На рис. 1 показано влияние потока нейтронов ( $\Phi$ ) с энергией 15 МэВ на удельное сопротивление ( $\rho$ ) и время жизни ( $\tau$ ) неосновных носителей заряда (электронов) в кремнии с  $\rho=20$  кОм·см. Подвижность носителей заряда при таких величинах потоков меняется значительно слабее. Характер изменений  $\rho$  и  $\tau$  типичен для кремния любой величины проводимости. Единственным качественным отличием (по сравнению с низкоомным кремнием) является появление минимума на зависимости  $\rho(\Phi)$ , что, вероятно, связано с активацией некоторых примесей основного типа проводимости. Следует отметить, что аналогичный минимум был обнаружен при исследовании высокоомного кремния и другими исследователями [3].

Цель данной работы — изучение влияния потока нейтронов и гамма-излучения на чувствительность магниточувствительных транзисторов (МТ).

МТ отличается от обычного биполярного транзистора значительно большей длиной базы  $l \approx L$  ( $L^2 = D\tau$  — квадрат длины диффузионного смещения неосновных носителей заряда;  $D$  — коэффициент диффузии) [4]. Так как действие магнитного поля на параметры транзистора проявляется в основном в изменении коэффициента передачи тока, то оценку действия радиации следует проводить по ее воздействию на этот параметр.

Коэффициент передачи тока МТ можно записать в простом виде:

$$h_{21Б} = 1 - C_1 / L^2, \quad (1)$$

где  $C_1$  — постоянная.

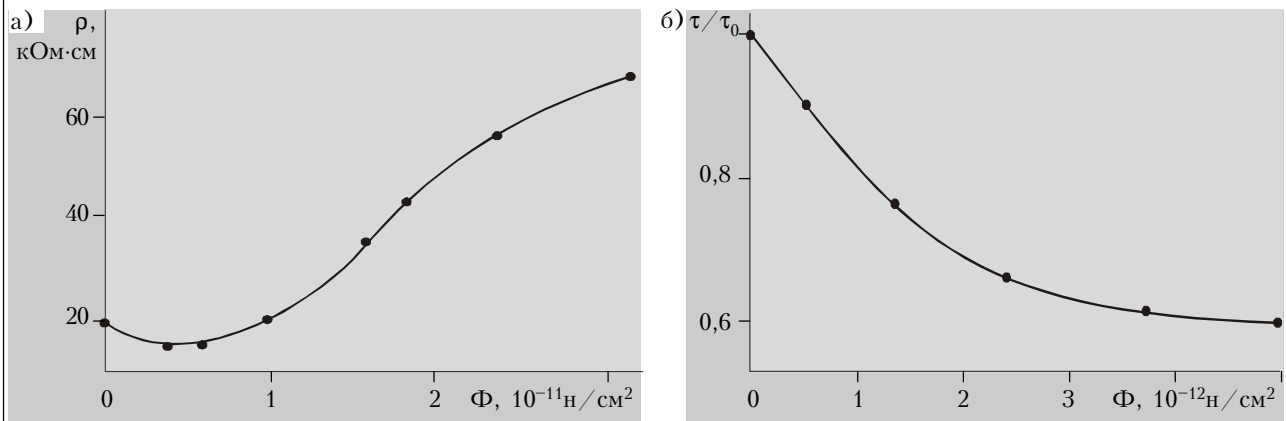


Рис. 1. Влияние потока нейтронов на удельное сопротивление (а) и время жизни неосновных носителей (б) в кремнии с  $\rho_0=20$  кОм·см

Поскольку коэффициент диффузии, пропорциональный подвижности носителей заряда ( $\mu$ ), слабо зависит от облучения, то основной причиной изменения  $h_{21Б}$  является уменьшение  $\tau$ , и (1) можно переписать как

$$h_{21Б} = 1 - C_2 / \tau, \quad (2)$$

где  $C_2$  — постоянная, включающая  $C_1$ .

Вольтовая магниточувствительность МТ ( $\gamma$ ) определяется по изменению напряжения на нем при постоянном токе питания:  $\gamma = \Delta U / IB$  ( $B$  — индукция магнитного поля). МТ обычно включается как двухполюсник (база отключена) последовательно с нагрузочным резистором  $R_n$ . Изменение напряжения на МТ при оптимальной нагрузке можно записать как

$$\Delta U = IR_n = \frac{I_{КБО}}{1 - h_{21Б}} R_n = I_{КБО} R_n \frac{\tau}{C_2}. \quad (3)$$

Таким образом,  $\gamma \sim \tau$ , и фактически зависимость магниточувствительности от потока нейтронов повторяет аналогичную зависимость  $\tau(\Phi)$ . Следовательно, имеет место отношение

$$\gamma / \gamma_0 \approx \tau / \tau_0, \quad (4)$$

т. е. график  $\gamma / \gamma_0 = f(\Phi)$  не отличается от рис. 1, б и не нуждается в дополнительных пояснениях.

При любых ядерных реакциях (ядерный взрыв, ядерные энергетические установки) в процессе деления ядер вместе с испусканием нейтронов происходит излучение гамма-квантов. Действие гамма-излучения на полупроводник проявляется в том, что часть энергии гамма-квантов передается связанным электронам с образованием свободных электронов (эффект Комптона). Эти электроны участвуют в процессах рассеяния на атомах облучаемого вещества, что так же приводит к образованию дефектов и уменьшению времени жизни неосновных носителей, как и при облучении нейтронами. Однако между взаимодействием нейтронов и полупроводником и взаимодействием гамма-квантов с ним есть некоторые различия, особенно при облучении тонких пластин, которые используются для создания полупроводниковых транзисторов.

В любом полупроводниковом кристалле имеются структурные дефекты. Кроме этого, при создании транзистора поверхность полупроводника подвергается многочисленной обработке (резка пластин, шлифовка, химическое травление), в результате чего на поверхности создаются дополнительные дефекты, уменьшающие эффективное время жизни неосновных носителей. При слабых потоках излучения (недостаточных для образования дефектов в объеме полупроводника) гамма-кванты могут разрушать комплексы технологических дефектов на поверхности, что приводит к уменьшению скорости рекомбинации носителей на поверхности и увеличению эффективного времени жизни (рис. 2). Следовательно, происходит своеобразное "залечивание" дефектов, и зависимость  $\tau(\Phi)$  для транзистора с большим количеством дефектов на поверхности возвращается к зависимости  $\tau(\Phi)$  с преобладанием объемной рекомбинации (переход от нижней кривой II на рис. 2 к верхней — O). Физический механизм "залечивания" состоит в нейтрализации поверхност-

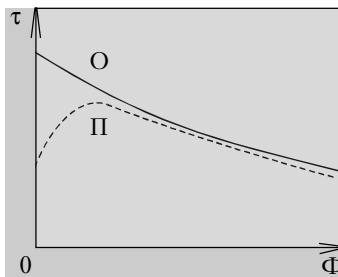
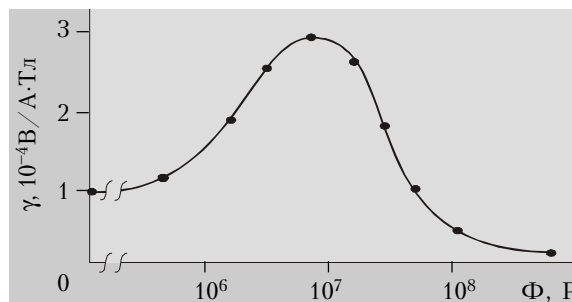


Рис. 2. Зависимость эффективного времени жизни от потока гамма-квантов в полупроводнике

ных зарядов на дефектах ионами и электронами, образовавшимися при поглощении гамма-квантов.

Так как магниточувствительность пропорциональна времени жизни неосновных носителей заряда ( $\gamma \sim \tau$ ), то ее зависимость от потока гамма-квантов у МТ должна повторять ход зависимости  $\tau(\Phi)$ . Обычно у МТ из высокоомного кремния скорость рекомбинации на поверхности со стороны электродов достаточно велика, и зависимость  $\tau(\Phi)$  имеет максимум (нижняя кривая на рис. 2).

Эксперименты с МТ из указанного дырочного высокоомного кремния с  $\rho = 20$  кОм·см показали, что зависимость  $\gamma(\Phi)$  также имеет максимум, т. е. сначала магниточувствительность  $\gamma$  с ростом потока гамма-квантов увеличивается (уменьшение дефектов на поверхности), а затем уменьшается (увеличение дефектов в объеме). На рис. 3 представлена эта зависимость, причем следует учесть, что рост  $\gamma$  происходит лишь при облучении поверхности МТ



со стороны электродов. Как видно из рисунка, гамма-излучение дозой до  $10^7$  Р увеличивает магниточувствительность в 3 раза, в то время как облучение потоком нейтронов до  $5 \cdot 10^{12}$  н/см<sup>2</sup> (см. рис. 1, б) уменьшает ее в 2 раза.

Очевидно, гамма-излучение дозой до  $10^7$  Р может использоваться в качестве технологического способа повышения чувствительности МТ.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Кулаков В. П., Ладыгин Е. А., Шаховцев В. И. и др. Действие проникающей радиации на изделия электронной техники. — М.: Сов. радио, 1980.
- Викулин И. М., Стафеев В. И. Физика полупроводниковых приборов. — М.: Радио и связь, 1990.
- Карпатницкий И. А., Егиазарян Г. А., Каракушан Э. И. и др. Влияние нейтронного облучения на свойства кремниевых магнитодиодов // Физика и техника полупроводников. — 1979. — № 6. — С. 1242.
- Викулина Л. Ф. Магниточувствительные транзисторы // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. — 1998. — № 1. — С. 25 — 27.