

## ЕЛЕКТРОНІКА

УДК 621.382

Марколенко П.Ю., Викулина Л.Ф., Нимцович А.И.  
Markolenko P.Yu., Vikulina L.F., Nimitsovich A.I.

### ДЕЙСТВИЕ РАДИАЦИИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ МАГНИТОУПРАВЛЯЕМЫХ ТРАНЗИСТОРОВ

#### ACTION OF RADIATION TO DESCRIPTIONS OF MAGNETOGUIDED TRANSISTORS

**Аннотация.** Исследовано влияние магнитного поля на характеристики магнитотранзисторов - транзисторов, ток через которые управляется внешним магнитным полем. Показано, что выбором дозы облучения можно как уменьшать, так и увеличивать их магниточувствительность.

**Summary.** Influence of the magnetic field on descriptions of magnetotransistors – transistors a current through which is managed the external magnetic field is investigated. It is showed that by the choice of dose of irradiation it is possible both to diminish and to increase their magneto-sensitiveness.

На сегодняшний день очень остро стоит проблема в изучении влияния облучения на характеристики элементов микроэлектроники (подвижность носителей зарядов, время генерации электронно-дырочных пар, коэффициент усиления тока и т.д.), в частности на приборы управляемые магнитным полем, так как они широко применяются в устройствах информатики, автоматики и электротехники.

В обычных транзисторах управление выходным током осуществляется подачей сигнала на входной управляющий электрод (эмиттер в биполярном транзисторе, затвор в полевом транзисторе). Ток через магнитотранзистор (далее МТ) изменяется внешним магнитным полем, т.е. управление бесконтактное и нет необходимости в третьем электроде [1]. Особенно наглядно преимущества МТ проявляются при использовании его в клавишах пультов ЭВМ. В клавишу встроены постоянный микромагнит. При отжатой клавише магнит удален от МТ и ток через него небольшой. При нажатии клавиши магнит приближается к МТ и магнитное поле увеличивает ток через него, в ЭВМ уходит импульс тока. В таком переключателе нет механически замыкаемых электродов, отсутствует эффект "дребезга контактов", уменьшается количество электрических соединений, что значительно увеличивает надежность и срок службы устройств, уменьшает энергопотребление и т.д. [2].

Цель работы состоит в исследованиях влияния радиации на параметры МТ, ранее в литературе неизвестных, и определении зависимости чувствительности МТ от дозы облучения.

Исследование воздействия радиации на характеристики полупроводниковых 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 [3]. При облучении полупроводника высокоэнергетическими частицами (электроны, гамма-кванты, нейтроны и протоны) в полупроводнике возникают дефекты типа вакансий и межузельных 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. 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 –  $\rho$ . Указанные изменения растут с увеличением исходного удельного сопротивления полупроводника [1].

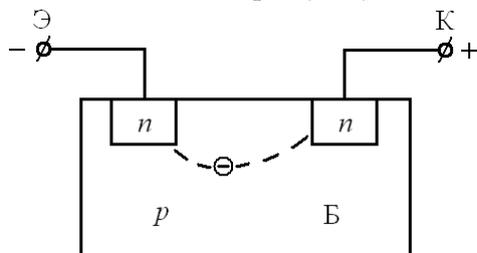


Рисунок 1 – Структура планарного МТ

На рис. 1 показана структура исследуемого планарного МТ (Б – база p-типа, Э – эмиттер и К – коллектор n-типа). Поскольку МТ имеет два вывода (схема с отключенной базой), то в промышленном варианте он обозначается КД304.

Рассмотрим влияние радиации на его параметры. МТ изготавливается из высокоомного кремния p-типа с  $\rho = 20$  кОм, и его параметры наиболее чувствительны к радиации. Наибольшие изменения электрофизических параметров полупроводника происходят при облучении тяжелыми частицами – нейтронами или протонами. На рис. 2 показано влияние потока нейтронов ( $\Phi$ ) с энергией 15 МэВ на удельное сопротивление и время жизни неосновных носителей заряда (электронов) в указанном кремнии ( $\tau_0$  – исходное время жизни). 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.

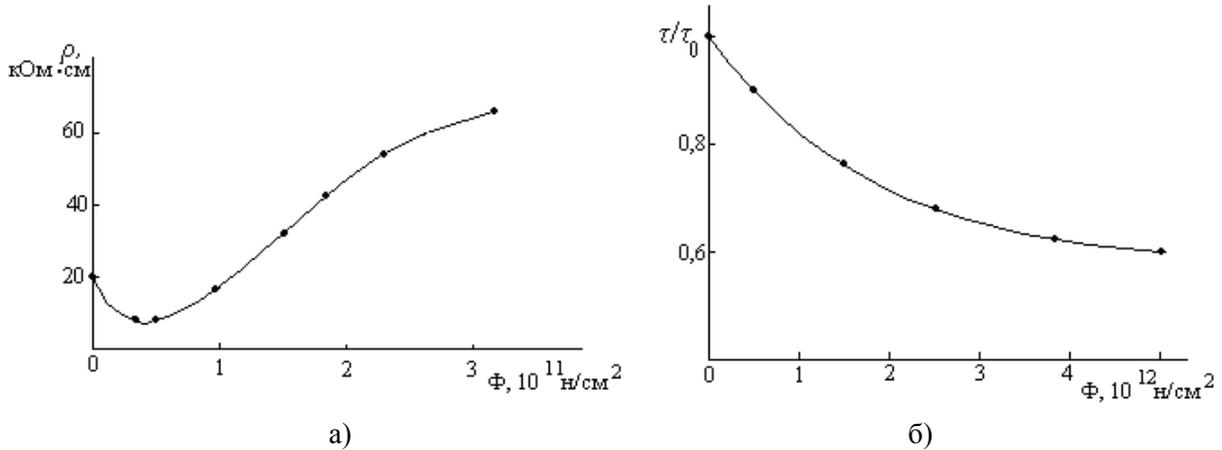


Рисунок 2 – Влияние потока нейтронов на удельное сопротивление (а) и время жизни неосновных носителей (б) в кремнии с  $\rho_0 = 20 \text{ кОм} \cdot \text{см}$

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 [1]

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

где  $C_1$  – постоянная;  $L^2 = D \cdot \tau$  – длина диффузионного смещения неосновных носителей заряда.

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

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

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

Вольтовая магниточувствительность магнитоприбора определяется по изменению напряжения на нем при постоянном токе питания  $\gamma = \frac{\Delta U}{I \cdot B}$ . МТ обычно включается последовательно с нагрузочным резистором  $R_H$ . Соответственно, изменение напряжения на магнитоприборе при оптимальной нагрузке можно записать как

$$\Delta U = I \cdot R_H = \frac{I_{\text{КБО}}}{1 - h_{21Б}} \cdot R_H = I_{\text{КБО}} \cdot R_H \cdot \frac{\tau}{C_2}.$$

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

$$\frac{\gamma}{\gamma_0} \approx \frac{\tau}{\tau_0}, \quad (3)$$

т.е. график  $\frac{\gamma}{\gamma_0} = f(\Phi)$  не отличается от рис. 2,б и не нуждается в дополнительных пояснениях ( $\gamma_0$  – магниточувствительность до облучения).

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 также 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 многочисленным обработкам (резка пластин, шлифовка, химическое травление), в результате которых 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. 3). 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 на рис. 3 к верхней). Физический механизм «залечивания» состоит в нейтрализации поверхностных зарядов на дефектах ионами и электронами, образовавшимися при поглощении гамма-квантов.

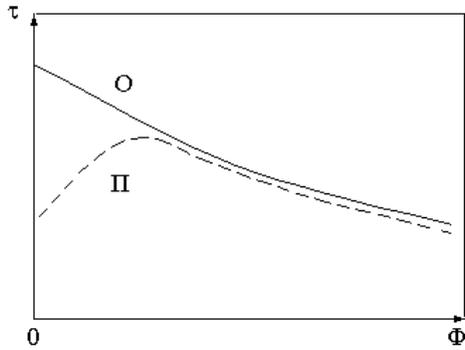


Рисунок 3 – Зависимость эффективного времени жизни от потока гамма-квантов в полупроводнике

Так как магниточувствительность пропорциональна времени жизни неосновных носителей заряда ( $\gamma \sim \tau$ ), то ее зависимость от потока гамма-квантов 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. 3). Эксперименты показали, что зависимость  $\gamma(\Phi)$  также имеет максимум, то есть сначала магниточувствительность  $\gamma$  с ростом потока гамма-квантов увеличивается (уменьшение дефектов на поверхности), а затем уменьшается (увеличение дефектов в объеме). На рис. 4 представлена эта зависимость, причем следует учесть, что рост  $\gamma$  происходит лишь при облучении поверхности МТ со стороны электродов.

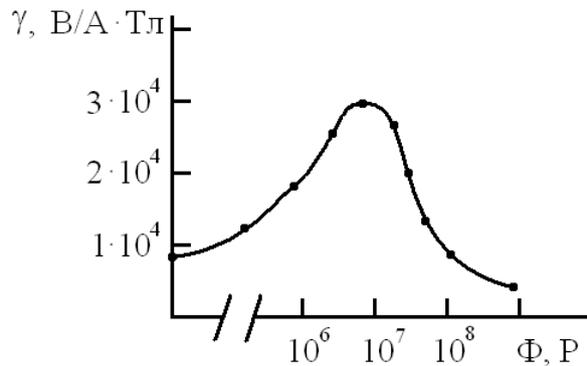


Рисунок 4 – Зависимость магниточувствительности одноколлекторного магнитотранзистора от потока гамма-излучения

Из приведенных результатов можно сделать следующие выводы:

1. При облучении магнитотранзисторов потоком нейтронов их чувствительность уменьшается.
2. Облучая магнитотранзистор различными по величине и времени действия потоками гамма-квантов, мы можем разрушать дефекты на поверхности, или увеличивать их количество в объеме полупроводника, т.е. изменять эффективное время жизни неосновных носителей, а значит управлять магниточувствительностью.
3. Гамма-излучение дозой до  $10^7$  Р может использоваться в качестве технологического способа повышения чувствительности магнитотранзисторов.

### Литература

1. Викулин И.М. Физика полупроводниковых приборов / И.М. Вакулин, В.И. Стафеев. – М.: Радио и связь, 1990. – 264 с.
2. Викулина Л.Ф. Физика сенсоров температуры и магнитного поля / И.В. Вакулина, М.А. Глауберман. – Одесса: Маяк, 2000. – 244с.
3. Викулин И.М. Действие радиации на характеристики элементов волоконно-оптических линий связи / Викулин И.М., Никифоров С.Н., Панфилов И.П. // Праці УНДІРТ. – 2005. – №4. – С. 35-36.