

**Секция 3. ФИЗИЧЕСКИЕ, ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ, МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКИЕ
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРИБОРОСТРОЕНИЯ**

УДК 621.37

**ДВУСЛОЙНЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ЭКРАНЫ НА ОСНОВЕ ОКСИДОВ ПЕРЕХОДНЫХ
МЕТАЛЛОВ ДЛЯ ЗАЩИТЫ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ ОТ ВНЕШНИХ СВЧ-ПОМЕХ**

Бойправ О.В., Богущ Н.В., Лыньков Л.М.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь*

Защита радиоэлектронных приборов от негативного воздействия внешних СВЧ-помех является одним из наиболее существенных материаловедческих аспектов приборостроения. Используемые с указанной целью материалы должны характеризоваться как низкими значениями коэффициента передачи электромагнитного излучения (ЭМИ), обуславливающими их способность эффективно снижать степень воздействия помех на защищаемый прибор, так и низкими значениями коэффициента отражения ЭМИ, обуславливающими возможность исключения влияния указанных материалов на процессы, связанные с формированием пассивных помех, возникающих вследствие переотражения побочного электромагнитного излучения радиоэлектронных приборов от конструкций, волновое сопротивление поверхностей которых превышает волновое сопротивление воздуха. Указанным требованиям, как правило, отвечают радиопоглощающие материалы или многослойные электромагнитные экраны. В представляемой работе проведены исследования, направленные на установление закономерностей взаимодействия ЭМИ с двуслойными конструкциями электромагнитных экранов на основе оксидов переходных металлов в зависимости от толщины их поверхностного слоя. Перспективностью применения этих материалов для изготовления электромагнитных экранов обусловлена их хорошими электродинамическими свойствами, а также невысокой стоимостью по сравнению с широкоиспользуемыми в настоящее время с указанной целью проводящими материалами.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

– разработка методики изготовления на основе оксидов переходных металлов двуслойных электромагнитных экранов, характеризующихся определенной толщиной слоев;

– получение в соответствии с разработанной методикой образцов электромагнитных экранов и анализ их характеристик передачи и отражения ЭМИ.

Предложены методика получения многослойных электромагнитных экранов на основе композиционных материалов толщиной более 5 мм и методика получения таких конструкций на основе

композиционных покрытий. Первая методика заключается в формировании материалов для каждого из слоев экрана по отдельности и дальнейшем соединении этих материалов при помощи распыляемого или гипсового клея. В соответствии со второй из предложенных методик формирование каждого следующего слоя изготавливаемого электромагнитного экрана должно выполняться путем нанесения с помощью шпателя находящейся в жидкой фазе смеси компонентов этого слоя на поверхность материала, полученного в результате формирования предыдущего слоя. Для реализации обеих методик необходимо использование следующей оснастки: формы прямоугольного сечения, на все боковые стенки которых нанесена с шагом 1 мм шкала (диапазон значений – от 0 до 20 мм); гладилки металлические; пресс металлический.

В соответствии с предложенными методиками были изготовлены образцы электромагнитных экранов. Внутренний слой таких образцов был изготовлен на основе композиционного материала, наполнителем которого являлся порошок, содержащий оксиды железа, а связующим веществом – гипс. Рассматриваемый слой характеризовался толщиной 0,5 см. Внешний слой образцов был изготовлен на основе композиционного материала, наполнителем которого являлся порошок диоксида титана, а связующим веществом – гипс. Рассматриваемый слой характеризовался толщиной 0,3 см (у образца № 1), 0,5, 0,7 и 1 см (соответственно у образцов № 2, № 3 и № 4).

Измерения значений коэффициентов отражения и передачи ЭМИ были выполнены в диапазоне частот 0,7...17 ГГц с помощью панорамного измерителя коэффициентов отражения и передачи SNA 0,01–18 в соответствии с методикой, представленной в [1].

Измерения значений коэффициента отражения ЭМИ изготовленных образцов выполнялись в двух режимах: режим согласованной нагрузки и режим короткого замыкания. При измерениях в первом из указанных режимов образец размещался между измерительной антенной и согласованной нагрузкой; измерительная антенна регистрировала мощность электромагнитных волн, отражаемых поверхностью образца. При измерениях во втором из указанных режимов образец

размещался между измерительной антенной и металлической подложкой; измерительная антенна регистрировала мощность электромагнитных волн, являвшихся результатом интерференции волн, отраженных поверхностью образца, и волн, отраженных поверхностью металлической подложки.

Установлено, что значения коэффициента передачи ЭМИ в диапазоне частот 0,7...2 ГГц изготовленных образцов электромагнитных экранов, толщина внешнего слоя которых составляет 0,5, 0,7 или 1 см изменяются в пределах от -1,0 до -10,0 дБ, а в диапазоне частот 2...17 ГГц – от -1,0 до 20,0 дБ. Значения коэффициента передачи ЭМИ в диапазоне частот 0,7...2 ГГц электромагнитных экранов, толщина внешнего слоя которых составляет 0,3 см, изменяются в пределах от -1,0 до -5,0 дБ, а в диапазоне частот 2...17 ГГц – от -1,0 до -10,0 дБ.

Установлено, что измеренные в режиме согласованной нагрузки значения коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне частот 0,7...2 ГГц образцов № 1, № 2, № 3 и № 4 изменяются соответственно в пределах от -0,5 до -8,0 дБ, от -2,0 до -11,0 дБ, от -0,5 до -8,0 дБ и от -2,0 до -17,0 дБ. В диапазоне частот 2...17 ГГц значения коэффициента отражения ЭМИ исследованных образцов – от -2,0 до -12,0 дБ, от -2,0 до -18,0 дБ, от -1,0 до -8,0 дБ и от -2,0 до -10,0 дБ соответственно. Резонансное снижение величины анализируемого параметра с -6 до -12 дБ зарегистрировано в диапазоне частот 6...8 ГГц у образца № 1 и с -10 до -18 дБ в диапазоне частот 9...12 ГГц у образца № 2. У образцов № 3 и № 4 резонансные снижения значений коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне частот 2...17 ГГц не наблюдались, что может быть обусловлено тем, что поверхностные слои этих структур ввиду их большей материалоемкости по сравнению со структурами 1 и 2 в большей степени снижают энергию взаимодействующего с ними ЭМИ.

На основе результатов измерений значений коэффициента отражения ЭМИ в режиме короткого замыкания установлено, что снижение энергии ЭМИ, отражаемого металлическими объектами, в диапазоне частот 0,7...2 ГГц в наибольшей степени обеспечивается образцом электромагнитного экрана, толщина поверхностного слоя которого составляет 0,7 см, а в диапазоне частот 2...17 ГГц – образцом электромагнитного экрана, толщина поверхностного и внутреннего слоев которой составляет 0,5 см.

В таблицах 1–4 представлены полученные в ходе измерений в режиме согласованной нагрузки минимальные значения коэффициента отражения ЭМИ исследованных образцов и частоты, на которых были зарегистрированы эти значения.

На основе результатов сравнительного анализа значений, представленных в таблицах 1–4,

можно сделать вывод о том, что толщина наружного слоя исследованных образцов электромагнитных экранов не оказывает существенного влияния на значения частот в диапазоне 0,7...2 ГГц, соответствующих минимальным (резонансным) величинам коэффициента отражения ЭМИ, а влияет только на значения этих величин. При измерениях в режиме короткого замыкания наименьшие значения коэффициента отражения ЭМИ в диапазоне частот 0,7...2 ГГц были зарегистрированы для образца электромагнитного экрана, толщина наружного слоя которого составляет 0,7 см, а в диапазоне частот 2...17 ГГц – для образца, толщина наружного слоя которого составляет 0,5 см.

Таблица 1 – Минимальные значения коэффициента отражения ЭМИ образца № 1 и соответствующие им значения частоты

Частота, ГГц	0,9	1,15	1,35	1,5	1,7
Значение коэффициента отражения ЭМИ, дБ	-3,0	-3,0	-3,0	-3,0	-4,0

Таблица 2 – Минимальные значения коэффициента отражения ЭМИ образца № 2 и соответствующие им значения частоты

Частота, ГГц	0,95	1,2	1,5	1,8	8
Значение коэффициента отражения ЭМИ, дБ	-7,0	-10,0	-14,0	-12,0	-18,0

Таблица 3 – Минимальные значения коэффициента отражения ЭМИ образца № 3 и соответствующие им значения частоты

Частота, ГГц	0,95	1,25	1,55	1,85	6,5
Значение коэффициента отражения ЭМИ, дБ	-21,0	-13,0	-7,0	-6,0	-8,0

Таблица 4 – Минимальные значения коэффициента отражения ЭМИ образца № 4 и соответствующие им значения частоты

Частота, ГГц	0,9	1,2	1,45	1,7	11,5
Значение коэффициента отражения ЭМИ, дБ	-5,0	-5,0	-5,0	-18,0	-18,0

На основе полученных результатов можно сделать вывод о том, что исследованные электромагнитные экраны, ввиду того, что характеризуются низкими значениями коэффициента передачи ЭМИ в диапазоне частот 0,7...17 ГГц, представляются перспективными для использования в целях защиты радиоэлектронных приборов от внешних СВЧ-помех, а также в целях предотвращения формирования пассивных электромагнитных помех в экранированных помещениях, ввиду того, что характеризуются сравнительно низкими значениями коэффициента отражения ЭМИ. С использованием таких электромагнитных экранов могут изготавливаться как перегородки для зо-

нирования помещений, в которых функционирует большое количество единиц радиоэлектронных приборов, а также плиты, предназначенные для фиксации на стенах помещений, экранированных с помощью металлических листов.

Благодарности. Исследования выполнялись по заданию 1.30 «Получение композиционных порошковых структур на основе переходных металлов, исследование их поглощающих свойств в

СВЧ-диапазоне» в рамках ГПНИ «Физическое материаловедение, новые материалы и технологии» (Физматтех), подпрограмма «Материаловедение и технологии материалов» (Маттех).

Литература

1.ГОСТ 20271.1-91 Изделия электронные СВЧ. Методы измерения электрических параметров.

УДК 621.382.2

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ШУМОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СУБМИКРОННОГО КРЕМНИЕВОГО ДИОДА С n^+ - p ПЕРЕХОДОМ МНОГОЧАСТИЧНЫМ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО

Борздов А.В.¹, Борздов В.М.¹, Кучинский П.В.²

¹Белорусский государственный университет
Минск, Республика Беларусь

²Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных физических проблем имени А.Н. Севченко» БГУ
Минск, Республика Беларусь

На сегодняшний день изучение влияния шумов на электрические характеристики полупроводниковых приборов является актуальной задачей. В данной работе представлено исследование временных флуктуаций плотности тока в канале кремниевого диода с n^+ - p -переходом. В такого рода приборных структурах флуктуации тока обусловлены процессами рассеяния носителей заряда и электрическими полями, определяющими дрейфовую скорость носителей, а также флуктуацией числа носителей заряда в структуре, в частности за счет процессов их генерации и рекомбинации. Исследование проведено на основе численного моделирования процессов переноса электронов и дырок в диоде многочастичным методом Монте-Карло. Данный метод является весьма эффективным при решении подобных задач и к настоящему времени нашел широкое применение для моделирования шумовых характеристик интегральных диодных и транзисторных структур [1–4].

Моделирование флуктуаций плотности тока в кремниевом диоде проведено для случая, когда между электродами поддерживается постоянное напряжение. Также на данном этапе мы ограничились рассмотрением режима прямого смещения p - n -перехода.

Моделируемая область диода схематически представлена на рис. 1. Длина n^+ -области $W_1 = 0.3$ мкм, длина p -области $W_2 = 0.4$ мкм. Уровни легирования n^+ и p -областей равны 10^{23} м^{-3} и $5 \cdot 10^{21} \text{ м}^{-3}$, соответственно. Результаты моделирования получены для температуры кристаллической решетки кремния, равной 300 К.

При разработке алгоритма моделирования процессов переноса электронов и дырок в диоде приняты следующие допущения. Полагается, что

поперечные размеры диода намного больше расстояния между электродами $W = W_1 + W_2$. В этом случае можно использовать так называемое одномерное самосогласованное моделирование, предполагающее решение одномерного уравнения Пуассона вдоль оси Z . Изменение напряженности электрического поля и электростатического потенциала в поперечном сечении структуры не рассматривается. Контакты электродов с кремнием моделируются как идеальные омические.

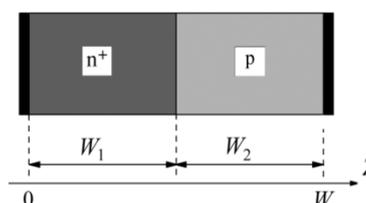


Рисунок 1 – Моделируемая область диода

В рамках самосогласованного моделирования процессов переноса на основе многочастичного метода Монте-Карло применяется так называемый метод частиц, когда реальный ансамбль электронов и дырок заменяется ансамблем частиц с некоторым эффективным зарядом, большим элементарного. Основы метода частиц применительно к моделированию полупроводниковых приборов изложены в монографии [5]. В рамках этого подхода рассчитывается объемная плотность подвижного заряда, входящая в уравнение Пуассона. Уравнение Пуассона решается через определенные малые интервалы времени, часто называемые временем коррекции поля. Величина времени коррекции поля определяется, в частности, размерами и уровнями легирования моделируемых областей. В случае рассматриваемого