

1990. – 632 с. (Moreau W.M. Semiconductor lithography. Principles, practices and materials. N.Y., London: Plenum Press)

3. Бринкевич Д.И., Вабищевич Н.В., Просолович В.С. Микромеханические свойства эпи-

таксиальных слоев GaP, легированных редкоземельным элементом диспрозием // Неорганические материалы. – 2012. – Т.48, № 8. – С.878-883.

УДК 621.371

ЧАСТОТНО-СЕЛЕКТИВНЫЕ ЭКРАНЫ НА ОСНОВЕ СВЯЗАННЫХ ПОЛОСКОВЫХ РЕЗОНАТОРОВ

Будай А.Г.¹, Кныш В.П.¹, Малый С.В.², Рудницкий А.С.²

¹Научно-исследовательский институт прикладных физических проблем БГУ, Минск, Республика Беларусь

²Белорусский государственный университет, Минск, Республика Беларусь

Частотно-селективные поверхности (ЧСП) широко используются на практике в качестве экранов зеркальных антенн, стенок антенных обтекателей и укрытий, поляризационных фильтров, средств радиомаскировки, для решения задач электромагнитной совместимости [1].

ЧСП представляют собой периодические решетки проводящих или апертурных элементов, расположенных в узлах периодической решетки (прямоугольной или гексагональной). Наибольший интерес представляют ЧСП в виде периодических решеток отверстий, перфорированных в плоских проводящих экранах конечной толщины. Угловые, частотные и поляризационные свойства ЧСП зависят от формы элементов, толщины экрана, типа периодической решетки.

В настоящее время совершенствование ЧСП осуществляется в двух основных направлениях: уменьшение периодов решетки и размеров элементов; расширение функциональной нагрузки на ЧСП [2,3].

В оптике большое внимание уделяется эффекту аномально высокого прохождения электромагнитного излучения через периодическую решетку из отверстий малых волновых размеров, перфорированных в тонком металлическом экране.

В докладе рассмотрен новый тип ЧСП, период которой включает два четверть волновых полосковых резонатора и отверстие в экране. Геометрия исследуемой ЧСП представлена на рисунке 1.

Электромагнитные свойства ЧСП исследовались в рамках вычислительного эксперимента на основе метода минимальных автономных блоков [4-7]. Исходная дифракционная задача сводилась к электродинамически эквивалентной о рассеянии плоской электромагнитной волны на неоднородности, расположенной в волноводе, выделяющем период решетки, как показано на рисунке 2.

На стенках волновода накладываются периодические граничные условия, связанные с направлением распространения падающей на решетку электромагнитной волны.



Рисунок 1 – Частотно-селективная поверхность на связанных полосковых резонаторах



Рисунок 2 – Эквивалентный пространственный волновод с периодом решетки

Применение метода МАБ предполагает декомпозицию отрезка волновода на систему блоков в виде прямоугольных параллелепипедов. Электромагнитные свойства блоков описываются матрицами рассеяния по отношению к виртуальным каналам, подключенным к их граням. После расчета матриц рассеяния всех блоков, входящих в декомпозиционную схему, осуществляется рекомпозиция всех общих внутренних каналов, а также каналов, выходящих на стенки волновода. Результатом рекомпозиции является многоканальная матрица рассеяния. Порядок этой матрицы равен количеству каналов, выходящих на верхнее и нижнее сечения

волновода. Использование итерационного алгоритма реализации метода МАБ не целесообразно, так как высокая добротность полосковых резонаторов приводит к необходимости проведения большого числа итераций.

Численное моделирование подтвердило возможность приведенной на рисунке 1 структуры в качестве частотно-селективной поверхности. Ниже приведены результаты, полученные для ЧСП со следующими конструктивными параметрами: периоды решетки 21x21 см; размеры полоска – 11x3x0.1 см; толщина экрана – 0.1 см; отверстие квадратной формы со стороной – 3 см; перемычки, соединяющие экран с полосками имеют размеры – 3x1x1 см. Все элементы ЧСП выполнены из идеально проводящего материала. На рисунках 3,4 показаны частотные зависимости коэффициентов отражения и прохождения соответственно для симметричной и ортогональной взаимной ориентации верхнего и нижнего полосков в периоде решетки.

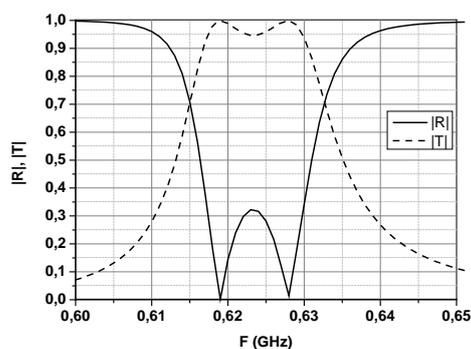


Рисунок 3 – Частотная зависимость коэффициентов отражения и прохождения для ЧСП с параллельными полосками.

Численный анализ показывает, что ЧСП без полосков является практически непрозрачной. Это связано с тем, что средние по частотному диапазону волновые размеры отверстий $\approx 0.06\lambda$. Наличие полосковых резонаторов обеспечивает полное прохождение линейно поляризованной электромагнитной волны через решетку. Это объясняется наличием высокодобротных полосковых резонаторов, имеющих связь через апертуры в экране. Поскольку эта связь сохраняется при изменении взаимной ориентации полосков по разные стороны экрана, то, как показывают результаты, представленные на рисунке 4, возможно изменение плоскости поляризации прошедшего через ЧСП электромагнитного поля. На рисунке 4 индекс «1» соответствует плоскости поляризации падающей волны (параллельной полоску), а индекс «2» – ортогональной ей плоскости.

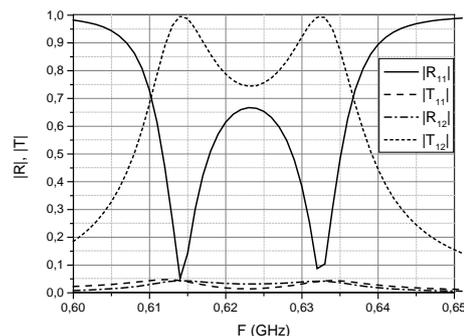


Рисунок 4 – Частотная зависимость коэффициентов отражения и прохождения для ЧСП с перпендикулярными полосками.

Численно исследовано влияние конструктивных параметров ЧСП (формы отверстий, полосков, диэлектрического заполнения отверстий и т.д.) на их радиопрозрачные и поляризационные характеристики. Рассмотрены возможные подходы к расширению полосы прозрачности. Исследовано влияние направления распространения волны на радиопрозрачные свойства ЧСП.

Рассмотрены технологии изготовления ЧСП и области их практического использования в микроволновом и оптическом диапазонах.

1. B. A. Munk, *Frequency Selective Surfaces: Theory and Design*. New York: Wiley Interscience, 2000.
2. S. A. Winkler, W. Hong, M. Bozzi, and K. Wu, "Polarization rotating frequency selective surface based on substrate integrated waveguide technology," *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 58, no. 4, pp. 1202–1213, Apr. 2010.
3. Xi-Cheng Zhu, Wei Hong, Ke Wu, Hong-Jun Tang, Zhang-Cheng Hao, Ji-Xin Chen, Hou-Xing Zhou, and Hao Zhou. Design of a Bandwidth-Enhanced Polarization Rotating Frequency Selective Surface, *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 62, no. 2, pp. 940–944, Feb. 2014.
4. Никольский В.В., Никольская Т.И. Декомпозиционный подход к задачам электродинамики. М., 1983.
5. Maly S.V. // *Mathematical Methods in Electromagnetic Theory: Proc. of VI International Conf.*, Lviv, September 10-13 1996. P. 490.
6. Будаев А. Г., Кныш В. П., Малый С. В. Разработка и исследование поглотителей ЭМВ // 14-я Международная Крымская конференция «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии». Материалы конференции. Севастополь, 2004. С. 555-556.
7. Будаев А. Г., Кныш В. П., Малый С. В. Комплексная методика расчета электродинамических параметров радиопоглощающих покры-

тий // Материалы Международной научной конференции ИРЭМВ-2005 «Излучение и

рассеяние электромагнитных волн». Таганрог, 2005. С.327-329.

УДК 535.376

ВЛИЯНИЕ ДЕГРАДАЦИИ ПОЛИМЕРНЫХ ЛИНЗ НА ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СВЕТОДИОДОВ

Бумай Ю.А.¹, Бобученко Д.С.¹, Доманевский Д.С.¹, Куклицкая А.Г.¹, Манего С.А.¹, Трофимов Ю.В.², Цвирко В.И.²

¹Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

²РНПУП «Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий НАН Беларуси»
Минск, Республика Беларусь

При длительной работе светоизлучающих диодов (СИД) помимо оптической и электрической деградации их кристаллов из-за роста количества дефектов структуры происходит также деградация полимерных линз СИД, формирующих определенную диаграмму направленности излучения. Облучение высокоэнергетическими частицами также может приводить к образованию дефектов как в кристаллах, так и линзах СИД и является одним из способов достижения быстрой деградации. В данной работе исследовано влияние облучения быстрыми электронами (энергия 4 МэВ, флюенс $D = 1,2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$) на оптические свойства ультрафиолетовых и зеленых СИД фирмы Helio (мощностью 1 Вт), в частности, установлен вклад деградации линзы в общую деградацию СИД. Энергия быстрых электронов оказалась достаточной для глубокого проникновения электронов в СИД, т.е. для создания радиационных дефектов как в линзе СИД, так и кристалле [1]. Необходимо отметить, что после облучения произошло визуальное наблюдаемое помутнение линз, при этом они приобрели желтый оттенок. Изменялись спектры электролюминесценции в области токов 1 – 350 мА в режиме стабилизации тока СИД, а также радиометрическая мощность излучения.

Спектры электролюминесценции при разных токах ультрафиолетового СИД, облученного быстрыми электронами, показаны на рисунке 1. На спектрах СИД с линзой наблюдаются две полосы. Одна из них с максимумом в интервале 3,08–3,09 эВ принадлежит основному излучению СИД, вторая (широкая) с максимумом в интервале ~2,0–2,1 эВ связана с радиационными дефектами. После удаления линзы интенсивность основной полосы возрастает приблизительно в ~170–190 раз (в исследуемом диапазоне токов). Это значит, что ультрафиолетовое излучение эффективно поглощается материалом линзы облученного СИД. Интенсивность второй полосы после удаления линзы, наоборот, уменьшается в несколько раз. В этом случае широкая полоса полностью обусловлена радиационными дефектами в кристалле СИД и представляет собой, вероятно, «желтую дефектную полосу», наблю-

даемую в этом спектральном диапазоне в несовершенных кристаллах СИД на базе нитридов [2].

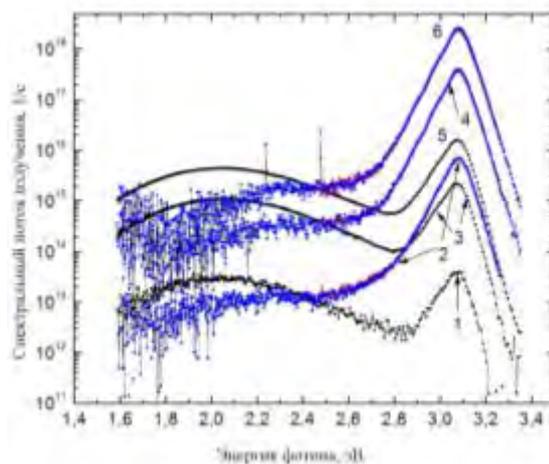


Рисунок 1 – Спектр электролюминесценции ультрафиолетового СИД, облученного флюенсом быстрых электронов $D = 1,2 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-2}$:
(1, 3, 5) – с линзой; (2, 4, 6) – без линзы;
ток: (1, 2) – 10 мА; (3, 4) – 100 мА;
(5, 6) – 350 мА.

В связи с этим, наиболее вероятной причиной увеличения интенсивности широкой полосы в облученных СИД при наличии линзы является фотолюминесценция радиационных дефектов материала линзы, возбуждаемая ультрафиолетовым излучением кристалла. При этом она наблюдается приблизительно в том же диапазоне спектра, что и «желтая дефектная полоса» в кристалле СИД.

Необходимо отметить также, что из-за наличия полосы связанной с дефектами свечение ультрафиолетового СИД становится подобным свечению белого, т.е. сильно изменяются цветовые координаты излучения.

Спектры электролюминесценции при разных токах зеленого СИД, облученного быстрыми электронами, показаны на рисунке 2. В отличие от ультрафиолетовых СИД в спектрах зеленых наблюдается одна полоса с максимумом в интервале 2,32–2,37 эВ (в зависимости от уровня воз-