

ENHANCEMENT OF THE INTERACTION EFFICIENCY IN O-TYPE ELECTRONICAL DEVICES WITH PHOTONIC CRYSTAL SLOW-WAVE SYSTEMS

Odarenko E.N.¹, Shmat'ko A.A.²

¹*Kharkiv National University of Radioelectronics*

14, Lenin Ave., Kharkov, 61166, Ukraine

Ph.: (057) 7021057, e-mail: oen@kture.kharkov.ua

²*V.N. Karazin Kharkiv National University*

4, Svobody Sq., Kharkov, 61022, Ukraine

Ph.: (057) 7075133, e-mail: alexandr.a.shmatko@univer.kharkov.ua

Abstract — Theoretical investigations of the photonic crystal fiber electrodynamic characteristics for cases of circular and rectangular hollow cores have been carried out. Localized modes with the longitudinal electric field intensity maximum in the center of the waveguides cross-section are found. The possibility of the efficiency enhancement of the sheet electron beams interaction with photonic crystal structures fields due to coupling resistance increase and electron current settling decrease is shown.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРАХ О-ТИПА С ФОТОННО-КРИСТАЛЛИЧЕСКИМИ ЗАМЕДЛЯЮЩИМИ СИСТЕМАМИ

Одаренко Е. Н.¹, Шматько А. А.²

¹*Харьковский национальный университет радиоэлектроники*

пр. Ленина, 14, Харьков, 61166, Украина

тел.: (057) 7021057, e-mail: oen@kture.kharkov.ua

²*Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина*

пл. Свободы, 4, Харьков, 61022, Украина

тел.: (057) 7075133; e-mail: alexandr.a.shmatko@univer.kharkov.ua

Аннотация — Проведено теоретическое исследование электродинамических характеристик фотонно-кристаллических дырчатых волноводов с пустотелой сердцевинной круглой и прямоугольной формы. Найдены локализованные моды с максимумом интенсивности продольного электрического поля в центре поперечного сечения волноводов. Показана возможность повышения эффективности взаимодействия ленточных электронных потоков с электромагнитным полем фотонно-кристаллических структур за счет увеличения сопротивления связи и уменьшения токооседания.

I. Введение

Разработка современных электровакуумных приборов мм и субмм диапазонов требует, как первооснову, создания соответствующих электродинамических систем, обладающих необходимыми свойствами для обеспечения эффективного электронно-волнового взаимодействия. В настоящее время значительное внимание уделяется исследованию разнообразных фотонно-кристаллических структур в плане их применения в широком частотном диапазоне — от микроволнового до оптического. Перспективность использования таких структур для формирования электродинамических систем электронных приборов коротковолновой части мм диапазона обусловлена рядом преимуществ, которые имеют диэлектрические периодические системы по сравнению с металлическими. В первую очередь, это упрощение технологии изготовления и возможность реализации высокой степени концентрации электромагнитного поля в области движения электронного потока. Кроме того, широкополосность таких приборов определяется шириной запрещенной зоны периодической структуры, которая сравнительно просто регулируется подбором физических параметров и геометрических размеров элементов фотонных кристаллов.

В связи с этим возникает необходимость дальнейших теоретических и экспериментальных исследова-

ний процесса электронно-волнового взаимодействия в приборах с фотонно-кристаллическими замедляющими системами с целью разработки новых эффективных схем электровакуумных приборов мм и субмм диапазонов.

В данной работе на основе самосогласованного подхода исследуются закономерности энергообмена линейного электронного потока с электромагнитными полями локализованных мод волноведущих фотонно-кристаллических структур.

II. Основная часть

Использование в электровакуумных приборах преимущественно цилиндрических и ленточных электронных потоков предопределяет возможные конфигурации поперечного сечения фотонно-кристаллических волноводов, пригодных для применения в качестве электродинамических систем. Одним из простейших вариантов такой структуры является фотонно-кристаллическое волокно с полый сердцевинной, которая используется как пролетный канал для потока заряженных частиц [1, 2]. На рис. 1 представлены два варианта поперечного сечения такого волновода для использования с цилиндрическими и ленточными пучками.

В данном случае периодическая система сформирована вакуумными цилиндрами в диэлектрике, который обозначен на рисунке черным цветом. Цилиндры расположены в узлах треугольной сетки.

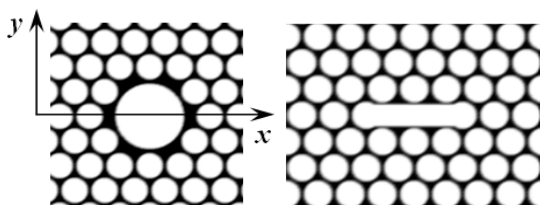


Рис. 1. Схемы поперечного сечения фотонно-кристаллических волноводов.

Fig. 1. Schemes of the photonic crystal waveguides cross sections

Такая симметрия структуры обеспечивает существование запрещенной зоны для двух поляризаций излучения — TE и TM [3]. Следовательно, в области сердцевин волновода будут существовать собственные состояния периодической системы, поле которых содержит продольную компоненту напряженности электрического поля, направленную вдоль траекторий движения электронов пучка. Дисперсионная диаграмма структуры представлена на рис. 2, где показаны запрещенные зоны для двух взаимно перпендикулярных поляризаций.

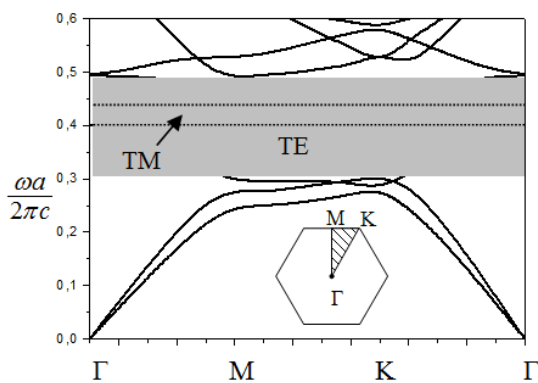


Рис. 2. Дисперсионная диаграмма фотонного кристалла.

Fig. 2. The band structure of a photonic crystal

На врезке к рисунку показана первая зона Бриллюэна бесконечной периодической системы. Штриховкой обозначена неприводимая область зоны. Численные расчеты электродинамических характеристик фотонно-кристаллических структур проведены с использованием хорошо апробированного программного пакета MIT Photonic Bands (MPB) [4].

Следует отметить, что разделение решения задачи на TE и TM волны правомерно лишь для случая равенства нулю продольной компоненты волнового числа (вдоль оси Oz). Поэтому при распространении волны вдоль сердцевин фотонно-кристаллического волокна ее поле будет характеризоваться минимум пятью компонентами, причем обе продольные компоненты будут отличны от нуля. Следовательно, поле любой локализованной в волноводе моды содержит продольную компоненту электрической напряженности и может использоваться для взаимодействия с электронным потоком при выполнении соответствующих условий синхронизма.

На рис.3 представлены результаты расчета пространственного распределения амплитуды продольной компоненты электрического поля в поперечном сечении фотонно-кристаллического волновода. Данной моде соответствует нормированная частота $\frac{\omega a}{2\pi c} = 0.42635$, которая находится в пределах пол-

ной запрещенной зоны бесконечной периодической структуры (см. рис. 2).

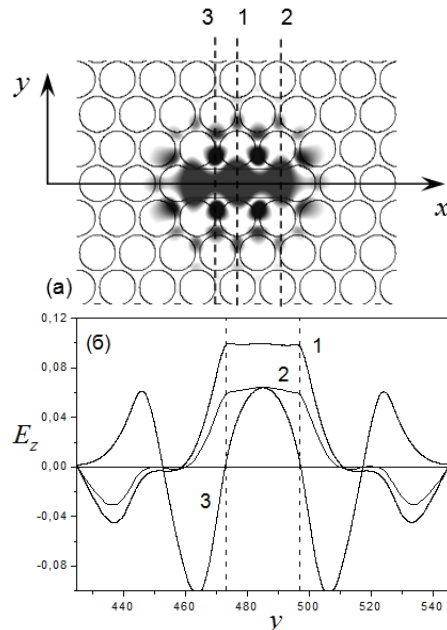


Рис. 3. Амплитудное распределение напряженности электрического поля.

Fig. 3. Amplitude distribution of electric field strength

На рис. 3а выделены три характерных сечения, обозначенные цифрами 1, 2 и 3, для которых на рис. 3б построены зависимости амплитуды продольной электрической напряженности E_z от поперечной координаты y . Вертикальными штриховыми линиями обозначены границы пролетного канала волновода. Для сечений 1 и 2 реализуется практически однородное амплитудное распределение, для сечения 3 — гауссово. Следовательно, наиболее энергетически выгодным является расположение электронного потока в середине пролетного канала, где интенсивность электрического поля максимальна. Кроме того, в этом случае сводится к минимуму оседание электронов на поверхность электродинамической системы, что также положительно сказывается на эффективности взаимодействия.

III. Заключение

Применение фотонно-кристаллических волноводов в качестве электродинамических систем электровакуумных приборов О-типа коротковолновой части мм диапазона с цилиндрическими и ленточными пучками позволяет повысить эффективность электронно-волнового взаимодействия за счет формирования практически однородного поперечного распределения поля и уменьшения токооседания.

IV. References

- [1] Bailey A.G., Smirnova E.I., Earley L.M., Carlsen B.E., Maxwell J.L. Photonic band gap structures for millimeter-wave traveling wave tubes. *Proc. SPIE 6120. Terahertz and Gigahertz Electronics and Photonics*, 2006, vol. 612004.
- [2] Odarenko E.N., Shmat'ko A.A. Photonic crystal wave-guides in O-type electron devices. *22nd Int. Crimean Conf. "Microwave & Telecommunication Technology" (CriMiCo'2012)*. Sevastopol, 2012, pp. 213-214.
- [3] Joannopoulos J.D., Meade R.D., Winn J.N. *Photonic Crystals: Molding the Flow of Light*. Princeton Univ. Press, 1995. 137 p.
- [4] Johnson S.G., Joannopoulos J.D. Block-iterative frequency-domain methods for Maxwell's equations in a planewave basis. *Optics Express*, 2001, No 3, pp. 173-190.