

ОСОБЕННОСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СВЕТОВЫХ ПУЛЬ В АНИЗОТРОПНОМ ФОТОННОМ КРИСТАЛЛЕ ПРИ ТУНЕЛЬНОЙ ИОНИЗАЦИИ

Челнынцев И.А.¹, Шилов Т.Б.¹, Двужилова Ю.В.¹

¹) Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования “Волгоградский государственный университет”
E-mail: nim-221_473718@volsu.ru

THE PECULIARITY OF THE PROPAGATION OF LIGHT BULLETS IN AN ANISOTROPIC PHOTONIC CRYSTAL DURING TUNNEL IONIZATION

Chelnyntsev I.A.¹, Shilov T.B.¹, Dvizhilova Y.V.¹

¹) Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education “Volgograd State University”

This paper presents the results of numerical simulation of three-dimensional light bullets that propagate in the medium of an array of semiconductor carbon nanotubes, which has a spatially modulated refractive index, taking into account the external pumping field and tunnel ionization.

В представленной работе фотонный кристалл определяется как среда из углеродных нанотрубок, с пространственной модуляцией показателя преломления. Низкие пороги нелинейных эффектов в фотонных кристаллах культивируют изучение новейших подлинных методов управления распространением электромагнитного излучения в этих средах.

Под воздействием накачки внешнего магнитного поля понимается процесс перекачки энергии внешнего источника в среду УНТ. Под световыми пулями, в работе понимаются предельно короткие импульсы фемтосекундной длительности, содержащие 1–5 периодов колебания электрического поля. Энергия таких импульсов находится в ограниченной пространственной области, а также они обладают высокой направленностью их излучения, сопротивлением к возмущениям и неизменностью формы [1 – 3]. Причем, пространственная модуляция показателя преломления фотонного кристалла, является уникальной средой, обладающей нелинейными свойствами, в которой возможно устойчивое распространение локализованных солитоноподобных импульсов [4].

При взаимодействии интенсивного лазерного излучения с атомами образуются динамические резонансы, индуцируемые этим излучением, которые отсутствуют в невозмущённом атоме. Из-за этого образуется нелинейность процесса ионизации атома.

Нелинейность, необходимую для стабилизации световых пуль, вносит массив полупроводниковых углеродных нанотрубок (УНТ), располагающий нелинейными особенностями в оптической области распространения [5].

Геометрическая составляющая предполагает, что импульс распространяется в направлении оси аппликат, в этом же направлении показатель преломления фотонного кристалла имеет пространственную модуляцию. Вектор-потенциал электрического поля световой пули направлен под углом к оси УНТ, таким образом фотонный кристалл можно рассматривать, как анизотропную среду.

Параметр накачки внешним магнитным полем был выбран в виде функции Гаусса высшего порядка. Вероятность туннельной ионизации рассчитывается при прохождении предельного короткого оптического импульса через массив УНТ. Стандартное значение угла между осью УНТ и вектором напряженности электрического поля импульса было взято за 60° .

Плотность тока образуется благодаря взаимодействию поля импульса с электронами в зоне проводимости нанотрубок. В нём же распределительная функция в начальный момент времени совпадает с распределяющей функцией Ферми.

Эволюция напряженности трехмерной световой пули в оптически анизотропном фотонном кристалле из УНТ, с учетом внешней накачки и туннельной ионизации показана на рисунке 1.

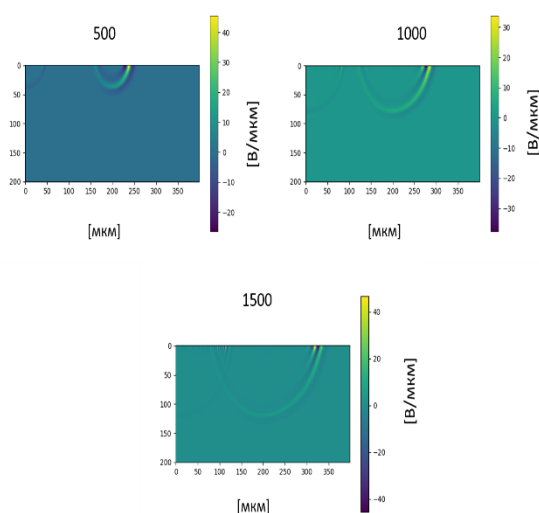


Рис. 1. Эволюция оптических импульсов в среде ориентированных УНТ, в различные моменты времени (5 пс, 10 пс, 15 пс). По осям отложены относительные единицы координат (мкм) и электрического поля (В/мкм).

Из результатов численного моделирования становится доступным рассуждение о том, что импульс с течением времени распространяется устойчиво. Оптимальное изменение параметров туннельной ионизации достигается только при 60° , в остальных случаях максимумы и минимумы повторяются независимо от значений выбранного числа.

1. Fibich, G., V. Pan. Optical light bullets in a pure Kerr medium // Optics Letters, Vol. 29, № 8, P. 887–889, (2004)

2. Mihalache, D. Multidimensional localized structures in optical and matter-wave media: a topical survey of recent literature // Romanian Reports in Physics, Vol. 69, P. 403, (2017)
3. Mihalache D. Localized structures in optical and matter-wave media: a selection of recent studies // Romanian Reports in Physics, Vol. 73, P. 403, (2021)
4. Sazonov S. V., Ustinov N. V. Propagation of few-cycle pulses in a nonlinear medium and an integrable generalization of the sine - Gordon equation // Physical Review, Vol. 98, P. 063803, (2018)
5. Eletsii A. V. Carbon nanotubes // Physics – Uspekhi, Vol. 40, P. 899, (1997)