

СВОЙСТВА ФОТОННЫХ КРИСТАЛЛОВ

Зарипова А.Р.

ФГБОУ ВО «КГЭУ», г. Казань, Республика Татарстан

alfira1996@mail.ru

Науч. рук. доц. Борисов А.Н.

В тезисе рассмотрены свойства фотонных кристаллов, их структура, примеры создания.

Ключевые слова: фотонный кристалл, структура, сверхрешетка, запрещенная зона, диапазон, скорость света, СВЧ-диапазон.

Идея о возможности распада энергий электронов непрерывного спектра на множество чередующихся разрешенных и запрещенных зон в направлении движения и распространения электронов при наличии пространственной периодичности поля деформации впервые была предложена Келдышем [1]. Периодические полупроводниковые структуры с заданными параметрами слоев назывались полупроводниковыми сверхрешетками. Широкий интерес к проблеме их создания появился после того, как статья была опубликована в 1970 г. Эсаки и Цу, которые предложили создавать такие структуры, изменяя легирование или состав слоев [2]. Периоды в таких структурах имели значения от 5 до 20 нм. Количество слоев достигло нескольких сотен.

Автор [3] дал определение фотонных кристаллов как материалов, кристаллическая решетка которых имеет периодичность диэлектрической проницаемости, приводящую к появлению «запрещенного» диапазона частот, называемого шириной запрещенной зоны фотонов. Яблонович [4] и Джон [5] предложили создать структуры с фотонной запрещенной зоной, которые можно рассматривать как оптический аналог запрещенной зоны в полупроводниках. В этом случае запрещенная зона - это частотный диапазон, в котором существование света во внутренней части кристалла запрещено. Тип дефекта или нарушения периодичности в этом случае может быть различным. Такие структуры должны создаваться искусственно в отличие от природных кристаллов. В этом случае размер базового элементарного элемента фотонного кристалла должен быть сопоставим с длиной волны света. Изготовление таких конструкций предполагает использование электронно-лучевой и рентгеновской литографии [2].

Структуры с пространственной периодичностью элементов также использовались в микроволновом диапазоне для уменьшения фазовой

скорости волны по сравнению со скоростью света в специальных волноводах, называемых структурами линии задержки. Авторы [3] назвали их «своего рода искусственными кристаллами, клетки которых имеют большие размеры».

В СВЧ-диапазоне фотонный кристалл может быть реализован как на волноводах с диэлектрическим заполнением [3,4], так и на плоских линиях передачи с периодически меняющейся полосовой структурой [5]. Существуют примеры создания фотонных кристаллов в оптическом, инфракрасном, ультрафиолетовом, микроволновом диапазонах. Создание фотонного кристалла для микроволнового диапазона является самым простым. Следует отметить, что при теоретическом описании свойств таких структур, в отличие, например, от сверхрешеток, нет необходимости учитывать свойства переходных слоев, квантовые размерные эффекты, специфику технологических процессов. Это открывает возможность более точно изучить свойства фотонных кристаллов, связанных с периодичностью, и, в частности, использовать результаты теоретического описания для измерения параметров их слоев в результате решения соответствующей обратной задачи.

Материалы со свойствами фотонных кристаллов также известны в природе. К ним относятся, например, благородный опал [6], спикулы природных биоминеральных кристаллов [7]. Изменяющаяся во времени запрещенная зона для частотной области в окрестности 6 ГГц наблюдалась в растворе с химической автоколебательной реакцией Бриггса-Раушера, характеризующейся наличием периодически расположенных областей с различной диэлектрической проницаемостью [8].

Источники

1. Keldysh LV. The influence of ultrasound on the electronic spectrum of a crystal. *Physics of the Solid State*. 1962
2. Esaki L, Tsu R. Superlattice and negative differential conductivity in semiconductors. *IBM Journal of Research and Development*. 1970
3. Joannopoulos J, Villeneuve PR, Fan S. Photonic crystals: Putting a new twist on light. *Nature*. 1997
4. Yablonovitch E. Inhibited spontaneous emission in solid-state physics and electronics. *Physical Review Letters*. 1987
5. John S. Strong localisation of fotons in certain disordered dielectric superlattices. *Physical Review Letters*. 1987
6. Zaitsev DF. *Nanophotonics and Its Application*. Moscow: Acteon; 2012.
7. Silin RA, Sazonov VP. *Delay-Line Systems*. Moscow: Soviet Radio; 1966.

8. Usanov DA, Nikitov SA, Skripal' AV, Frolov AP, Orlov VE. Waveguides containing frame elements with electrically controlled characteristics of permitted and forbidden bands. Journal of Communications Technology and Electronics. 2014.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'A. Orlov', is located below the main text block.