

Поглощение света в неперриодических сверхрешетках PbS/C в электрическом поле

© С.Ф. Мусихин, В.И. Ильин, О.В. Рабизо, Л.В. Шаронова*, Л.Г. Бакуева

Санкт-Петербургский государственный технический университет,
195251 Санкт-Петербург, Россия

* Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе Российской академии наук,
194021 Санкт-Петербург, Россия

(Получена 12 января 1998 г. Принята к печати 19 января 1998 г.)

Исследовано поглощение света в неперриодических сверхрешетках PbS/C Фибоначчи и Thue–Morse при комнатной температуре при двух ориентациях напряженности электрического поля световой волны. В первом случае вектор напряженности направлен параллельно плоскости сверхрешетки, во втором — имеется составляющая, перпендикулярная плоскости слоев. Исследовано поглощение света во внешнем электрическом поле, направленном вдоль оси сверхрешетки.

Характерной особенностью неперриодических сверхрешеток является вид энергетического спектра электронов, дырок, фононов и других коллективных возбуждений. Сверхрешетки на основе иерархических структур продолжают привлекать внимание исследователей [1,2] как объекты, которые имеют энергетический спектр, построенный по принципу кантерова множества. Формирование энергетического спектра в неперриодических сверхрешетках происходит в результате выбора чередования слоев различной толщины либо слоев из различных материалов. Таким образом можно задать требующийся вид энергетического спектра в процессе изготовления решетки. Среди различных видов сверхрешеток особое внимание уделяется структурам, в которых чередование слоев подчиняется определенным законам — решетки Фибоначчи, Thue–Morse, Рудина–Шапиро и их обобщения. Сверхрешетки Фибоначчи являются одномерным аналогом квазикристалла и в этом отношении могут служить модельным объектом для исследования энергетических спектров электронов и фононов [3]. Однако и сами по себе неперриодические сверхрешетки проявляют интересные оптические и электрические свойства, исследуемые теоретически [4,5] и экспериментально [6–8]. С практической точки зрения они могут быть использованы для конструирования материалов с заданной структурой энергетического спектра и, в частности, для оптоэлектронных применений. В этой связи представляет интерес исследование оптических свойств неперриодических сверхрешеток и влияния на них электрического поля. В данной работе исследовано пропускание поляризованного и неполяризованного света в сверхрешетках Фибоначчи и Thue–Morse. Изучено также влияние электрического поля, приложенного вдоль оси роста сверхрешетки.

Структуры были изготовлены методом импульсного лазерного напыления в вакууме на подложки из стекла, кварца и кремния. На диэлектрическую подложку перед изготовлением сверхрешетки и на поверхность сверхрешетки после ее напыления наносили полупрозрачный слой серебра, представляющий собой электрический кон-

такт к сверхрешетке. Решетки содержали 20 пар слоев, причем каждая пара состояла из слоя алмазоподобного углерода толщиной около 5 Å и слоя сульфида свинца толщиной 114 или 57 Å. Слои PbS имели проводимость n -типа.

Исследованы оптические свойства сверхрешеток при комнатной температуре. Как показали эллипсометрические измерения, коэффициент экстинкции на длине волны 0.6328 мкм составил для периодической решетки PbS/C значение, равное 1.2, а для решеток Фибоначчи и Thue–Morse, при близких значениях толщины слоев в решетке — 1.3. Это свидетельствует о различном поглощении в периодических и неперриодических сверхрешетках, а следовательно, и о различной структуре энергетических спектров. Исследованы также спектры пропускания сверхрешеток в области энергии квантов $1 \div 3$ эВ. На спектрах пропускания в зависимости от энергии кванта хорошо видны характерные для сверхрешеток ступени, связанные с переходами между уровнями пространственного квантования. Благодаря непараболичности энергетических зон электронов и дырок в PbS поглощение света, связанное с переходами между уровнями квантования, возможно и при нормальном падении света на поверхность решеток, когда вектор напряженности электрического поля параллелен слою сверхрешетки. Характер поглощения света различен для составляющих вектора напряженности электрического поля световой волны вдоль и поперек слоев сверхрешетки. С целью изучения влияния параллельной и перпендикулярной составляющих напряженности электрического поля исследовано пропускание света при нормальном падении света и при падении поляризованного света под углом 45°. В последнем случае появляется составляющая напряженности электрического поля, перпендикулярная плоскости слоя. Как показали измерения спектров пропускания поляризованного света, при увеличении составляющей вектора напряженности электрического поля световой волны, перпендикулярной плоскости решетки, поглощение возрастает.

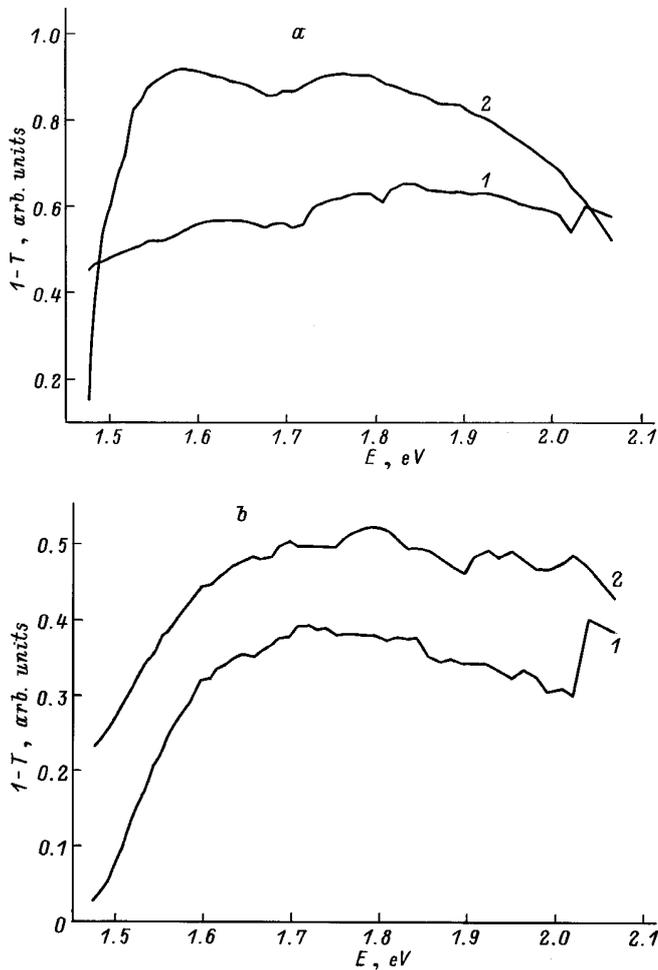


Рис. 1. Зависимость разности падающего и прошедшего световых потоков ($1 - T$) в относительных единицах от энергии кванта E для решетки Фибоначчи (a) и решетки Thue–Morse (b). 1 — нормальное падение неполяризованного света; вектор напряженности электрического поля световой волны параллелен плоскости сверхрешетки, 2 — падение линейно поляризованного света под углом 45° к плоскости сверхрешетки; вектора напряженности электрического поля световой волны имеет составляющую, перпендикулярную плоскости сверхрешетки.

На рис. 1, a приведен спектр разности падающего и прошедшего световых потоков ($1 - T$) (T — оптическое пропускание) от энергии кванта E для решетки Фибоначчи при нормальном падении неполяризованного света (кривая 1) и поляризованного света, имеющего составляющую напряженности электрического поля, перпендикулярную плоскости слоя (кривая 2). На рис. 1, b приведены аналогичные спектры для решетки Thue–Morse. Как видно из рис. 1, a , при поглощении света, имеющего перпендикулярную составляющую вектора напряженности, появляется область поглощения в интервале $1.52 \div 1.68$ эВ. Вторая особенность связана с уменьшением поглощения в области энергии квантов больше 1.8 эВ. В решетках Thue–Morse при наличии перпендикулярной составляющей вектора напряженно-

сти электрического поля световой волны появляются области поглощения в интервалах $1.67 \div 1.69$, $1.75 \div 1.82$ и $1.88 \div 1.97$ эВ.

Переходы электронов при поглощении света в сверхрешетках возможны между уровнями размерного квантования дырок и электронов. В наших сверхрешетках все уровни валентной зоны заняты электронами. Как показывает расчет уровней в сверхрешетке Фибоначчи PbS/C [9], в спектре энергии присутствуют участки запрещенных состояний и участки с частым расположением уровней. При переходах между областями с частым расположением уровней появляются широкие области поглощения. Из экспериментальных спектров видно, что расположение таких областей различно для решеток Фибоначчи и Thue–Morse. Это свидетельствует о различии энергетических спектров сверхрешеток двух типов.

Приложение электрического поля вдоль оси сверхрешетки вызывает изменение энергетического спектра. Как показано в работе [9], приложение электрического поля вызывает разрушение строгой иерархии уровней и при достаточном большом смещении (более 0.4 В) вызывает исчезновение щели между уровнями старшей иерархии. Наши измерения показывают, что в решетках Фибоначчи поглощение в электрическом поле возрастает. В решетках Thue–Morse поглощение в области $1.55 \div 2.06$ эВ вызывает увеличение или уменьшение пропускания в зависимости от полярности приложенного напряжения (рис. 2), а в области $1.075 \div 1.13$ эВ наблюдается просветление при нормальном падении света, в то время как при наличии перпендикулярной составляющей вектора напряженности электрического поля световой волны при любой полярности поглощение возрастает. Ранее в сверхрешетках Фибоначчи наблюдали также гистерезис оптического пропускания при изменении электрического поля [10].

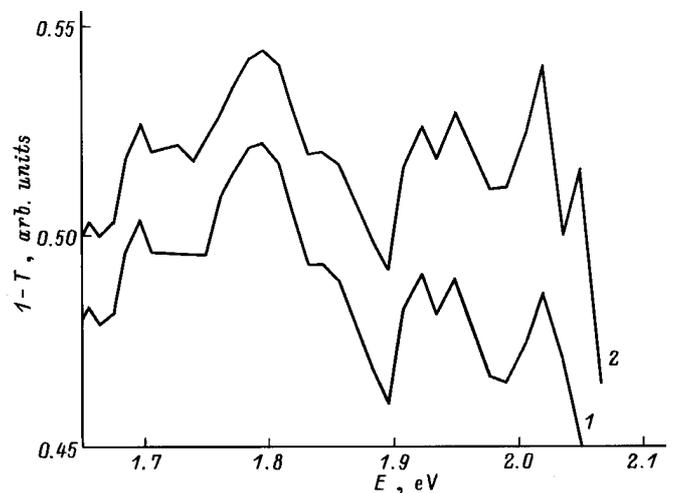


Рис. 2. Зависимость разности падающего и прошедшего световых потоков ($1 - T$) в относительных единицах от энергии кванта E для решетки Thue–Morse. Внешнее напряжение, перпендикулярное слоям сверхрешетки, $U = 0$ (1) и 3 В (2).

Таким образом, неперриодические сверхрешетки обладают разнообразными оптическими и электрооптическими свойствами, которые могут быть использованы в оптоэлектронных устройствах.

Данная работа поддержана ФЦП "Интеграции" (проект № 75) и РФФИ (грант № 96-02-17200).

Список литературы

- [1] E. Diez, F. Dominguez-Adame, E. Maciá, A. Sánchez. *Phys. Rev. B*, **54**, 16 792 (1996).
- [2] P. Carpena, V. Gasparian, M. Ortuño. *Phys. Rev. B*, **51**, 12 813 (1995).
- [3] M. Quilichini, T. Janssen. *Rev. Mod. Phys.*, **69**, 277 (1997).
- [4] A. Rodriguez, F. Dominguez-Adame. *Phys. Rev. B*, **56**, 10 737 (1997).
- [5] P.E. de Brito, C.A.A. daSilva, H.N. Nazareno. *Phys. Rev. B*, **51**, 6096 (1995).
- [6] С.Ф. Мусихин, Л.Г. Бакуева, В.И. Ильин, О.В. Рабизо, Л.В. Шаронова. *ФТП*, **29**, 474 (1995).
- [7] С.Ф. Мусихин, В.И. Ильин, О.В. Рабизо, Л.Г. Бакуева, Т.В. Юдинцева. *ФТП*, **31**, 56 (1997).
- [8] V.I. Il'in, S.F. Musikhin, L.G. Bakueva, O.V. Rabizo, S.A. Rykov. *Mater. Sci. Eng. B*, **35**, 120 (1995).
- [9] Е.Я. Глушко, В.Н. Евтеев. *ФТП*, **31**, 889 (1997).
- [10] V.I. Il'in, S.F. Musikhin, L.G. Bakueva, O.V. Rabizo. In: *Proc. Int. Symp. "Nanostructures: Physics and Technology"* (St.Petersburg, Russia, June 26–30, 1995) p. 111.

Редактор Л.В. Шаронова

Light absorption on non-periodical PbS/C superlattices in electric field

S.F. Musikhin, V.I. Il'in, O.V. Rabizo, L.V. Sharonova*, L.G. Bakueva

St.Petersburg State Technical University,
195251 St.Petersburg, Russia

* A.F.loffe Physicotechnical Institute,
Russian Academy of Sciences,
194021 St.Petersburg, Russia

Abstract The light absorption has been investigated in nonperiodical PbS/C Fibonacci and Thue-Morse superlattices at room temperature and two orientations of the light wave electric field. The first orientation is chosen along superlattice layers. At the second orientation there is an electric field component perpendicular to the superlattice layers. The light absorption was investigated in an electric field along the superlattice axis.

E-mail:smus@twonet.stu.neva.ru