

Письма в ЖЭТФ, том 18, вып. 1, стр. 27 – 30

5 июля 1973 г.

**САМОИНДУЦИРОВАННАЯ ПРОЗРАЧНОСТЬ В ПОЛУПРОВОДНИКЕ
ПРИ ОДНОФОТОННОМ ФОЗБУЖДЕНИИ
УЛЬТРАКОРотКИМ ИМПУЛЬСОМ СВЕТА**

*Ф. Брюкнер, В. С. Днепровский, Д. Г. Коцуг,
В. У. Хамматов*

Экспериментально обнаружен эффект самоиндуцированной прозрачности в полупроводнике при однофотонном возбуждении ультракороткими импульсами света.

В последнее время появился ряд теоретических работ [1 – 4], посвященных когерентному взаимодействию мощного лазерного излучения с полупроводниками в случае, когда длительность светового импульса меньше времени поперечной релаксации вещества ($\tau \ll T_2$) а $\Theta_0 = \frac{\mu}{\hbar} \int_{-\infty}^{+\infty} E dt > \pi$, где E – медленная амплитуда поля светового импульса на входе в вещество, μ – дипольный матричный элемент перехода. Явление заключается в значительном уменьшении поглощения полупроводником сверхкоротких импульсов света, распространяющихся с групповыми скоростями на порядок меньше скорости света в данном материале. Импульс света, когерентно возбуждая электронно-дырочные пары при межзонном поглощении, теряет энергию на своем переднем фронте; эта энергия возвращается к нему на заднем фронте за счет индуцированного переизлучения. Условие $\tau \ll T_2$ накладывает опре-

деленные ограничения на соотношение между шириной запрещенной зоны полупроводника и энергией кванта возбуждающего света [1], так как T_2 зависит от кинетической энергии рожденных электронов и падает с ее увеличением за счет взаимодействия с оптическими фононами.

Ниже приводятся результаты экспериментов по наблюдению самоиндуцированной прозрачности при однофотонном взаимодействии сверхкоротких импульсов света с полупроводником¹⁾.

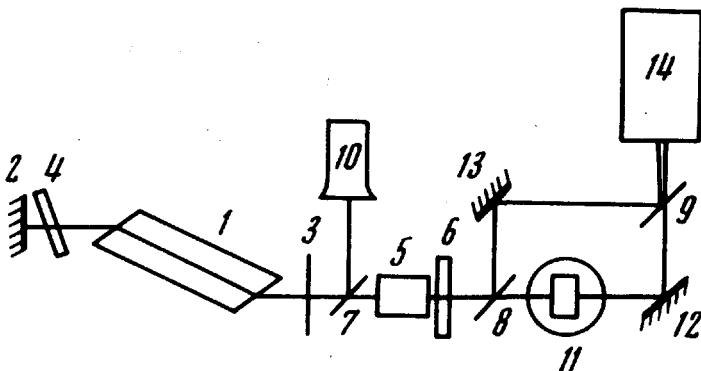


Рис. 1. Схема экспериментальной установки. 1 – неодимовый лазер с синхронизированными модами; 2, 3 – зеркала, напыленные на клиновидных подложках, 4 – кювета с просветляющимся фильтром; 5 – кристалл KDP; 6 – фильтр СЗС22; 7, 8, 9 – стеклянные пластины, 10 – фотоэлемент ФЭК-15 для синхронизации запуска развертки ФЭР-2. 11 – азотный криостат, 12, 13 – алюминиевые зеркала, 14 – фотоэлектронный регистратор ФЭР-2

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1. Образец $\text{CdS}_{0,6}\text{Se}_{0,4}$, выращенный из газовой фазы, с шириной запрещенной зоны $E_g = 2,3 \text{ эв}$ ($T = 77^\circ\text{K}$) был охлажден до температуры жидкого азота с целью увеличения времени поперечной релаксации T_2 . Длина образца $\ell = 4 \text{ мкм}$. Кристалл облучался сверхкороткими импульсами второй гармоники ($h\nu = 2,34 \text{ эв}$) неодимового лазера, работающего в режиме самосинхронизации мод. Длительность импульсов ($\tau \lesssim 2 \cdot 10^{-11} \text{ сек}$) контролировалась с помощью фотохронографа ФЭР-2, имеющего временное разрешение $2 \cdot 10^{-11} \text{ сек}$. Измерения по методу столкновений в двухфотонно поглощающем кристалле ZnS с шириной запрещенной зоны $\sim 3,6 \text{ эв}$ позволили оценить среднюю длительность импульса в цуге сверхкоротких импульсов ($\bar{\tau} \approx 5 \cdot 10^{-12} \text{ сек}$) [7]. При этом импульсная плотность мощности может достигать $10^9 \text{ вт}/\text{см}^2$ в несфокусированном пучке. Выбор источника накачки (гигантская мощность, малая длительность импульса) и охлажденного кристалла с шириной запрещенной зоны $E_g \sim h\nu$ определялся отмеченными выше условиями наблюдения самоиндуцированной прозрачности. Энергия падающего и прошедшего через образец излучения измерялась с помощью специальных схем,

¹⁾ Впервые явление самоиндуцированной прозрачности при двухфотонном взаимодействии света с полупроводником было обнаружено авторами работ [5, 6].

созданных на основе фотосопротивлений ФСК-1 и отградуированных по калориметру ИМО-2. Чувствительность схемы измерения не хуже 10^{-6} дж. Задержка импульсов света, падающих и прошедших через кристалл, измерялась на фотохронографе. Оба луча (см. рис. 1) направлялись на разные участки щели прибора ФЭР-2.

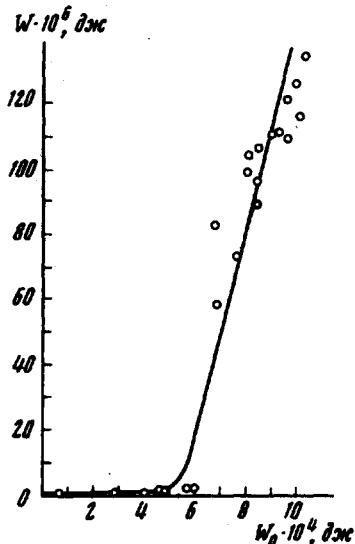


Рис. 2. Зависимость энергии, прошедшей через кристалл от энергии падающего излучения

На рис. 2 приведена зависимость энергии, прошедшей через кристалл (W), от энергии падающего излучения (W_0) при облучении образца цугом сверхкоротких импульсов. Характерно резкое увеличение прозрачности образца $\text{CdS}_{0,6}\text{Se}_{0,4}$ более чем на два порядка. Коэффициент пропускания образца G достигает 0,2 (для сравнения следует указать, что измеренное с помощью двойного монохроматора ДФС-12 пропускание $G \leq 10^{-3}$). Небольшое увеличение плотности мощности излучения (еще не вызывающее повреждение передней грани образца) за счет фокусировки приводит к значительному дополнительному увеличению прозрачности. При замене генератора пикосекундных импульсов генератором, работающим в режиме модуляции добротности ($\tau = 3 \cdot 10^{-8}$ сек), не удалось зарегистрировать излучение, прошедшее через кристалл.

Зарегистрирована задержка ($\Delta t = 0,15 \pm 0,2$ нсек) импульса света, прошедшего через кристалл, по сравнению с временем прохождения опорного импульса с помощью прибора ФЭР-2, работающего в режиме быстрой развертки (при этом на фотохронограммах просматривался только один аксиальный период излучения). Число импульсов на аксиальном периоде и их относительные интенсивности менялись от вспышки к вспышке. Следует отметить, что задержка была зарегистрирована только для импульсов максимальной интенсивности. Измеренное значение Δt позволяет оценить скорость распространения света в кристалле по фор-

муле $V = c \left(1 + \frac{c \Delta t}{\ell}\right)^{-1}$. При $\Delta t = 0,15$ нсек $V = 2,5 \cdot 10^9$ см/сек.

Наблюдаемое высокое значение пропускания света кристаллом $\text{CdS}_{0,6}\text{Se}_{0,4}$ и задержка сверхкоротких импульсов позволяют предположить, что отмеченные явления связаны с эффектом самоиндуцированной прозрачности в полупроводнике при однофотонном возбуждении.

Мы благодарны Д.Н.Клышко и Р.В.Хохлову за обсуждение результатов, Г.В.Венкину, В.П.Протасову, Д.И.Малееву и Н.Д.Смирнову за предоставленные схемы измерения малых значений энергии.

Московский
государственный университет
им. М.В.Ломоносова

Поступила в редакцию
16 мая 1973 г.

Литература

- [1] И.А.Полуэктов, Ю.М.Попов. Письма в ЖЭТФ, 9, 542, 1969.
 - [2] Ю.И.Лисовец, И.А.Полуэктов, Ю.М.Попов, В.С.Ройтберг. сб. "Квантовая электроника", №5, 28, 1971.
 - [3] N.Tzoar, J.I.Gersten. Phys. Rev. Lett., 28, 1203, 1972.
 - [4] A.Schenzle, H.Haken. Optics Commun. 6, 96, 1972.
 - [5] Г.Л.Гварджаладзе, А.З.Грасюк, И.Г.Зубарев, П.Ф.Крюков, О.Б.Шатерашвили. Письма в ЖЭТФ, 13, 159, 1969.
 - [6] Г.Л.Гварджаладзе, А.З.Грасюк, В.А.Коваленко. ЖЭТФ, 64, 446, 1973.
 - [7] В.В.Арсеньев, В.С.Днепровский, Д.Н.Клышко, Л.А.Сысоев. ЖЭТФ, 60, 114, 1971.
-