

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ КОМБИНАЦИОННОГО РАССЯНИЯ СВЕТА
В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ КРИСТАЛЛАХ С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРА НА ПАРАХ
МЕДИ

А. М. Агальцов, В. С. Горелик, Т. Ф. Файзулло

УДК 621.373.8

Предложена новая методика регистрации слабых спектров комбинационного рассеяния света в полупроводниковых кристаллах, основанная на счете фотонов с коротким временем стробирования (35 нс).

В настоящее время важной задачей спектроскопии комбинационного рассеяния (КР) является изучение кристаллов, непрозрачных в видимой области спектра. Наблюдение спектров КР таких кристаллов можно проводить, используя схему "на отражение". При этом вклад в рассеяние дает лишь небольшой слой кристалла, толщина которого сравнима с длиной волны возбуждающего излучения. Вследствие этого интенсивность КР при использовании данного метода очень мала, что затрудняет его регистрацию.

Для обеспечения надежной регистрации таких спектров можно пойти или по пути применения лазерных источников возбуждающего излучения с повышенной средней мощностью, или использовать более чувствительные системы регистрации световых потоков. Рациональнее пойти по второму пути, так как в ряде случаев применение лазеров с повышенной средней мощностью приводит к разрушению исследуемых образцов.

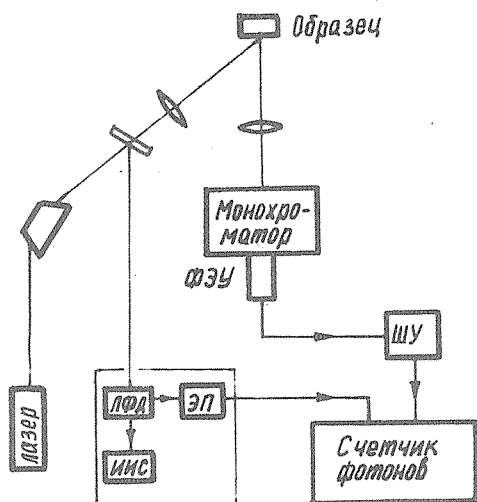
В настоящее время известны 4 метода регистрации слабых световых потоков: а) метод счета фотонов (одноэлектронный метод), б) метод синхронного детектирования, в) метод измерения постоянного тока, г) метод полного шума I/I .

Сопоставление показывает, что при прочих равных условиях

и при принятии мер по снижению темновых шумов ФЭУ предельная чувствительность одноэлектронного метода может быть на порядок выше, чем у любого другого метода /1/.

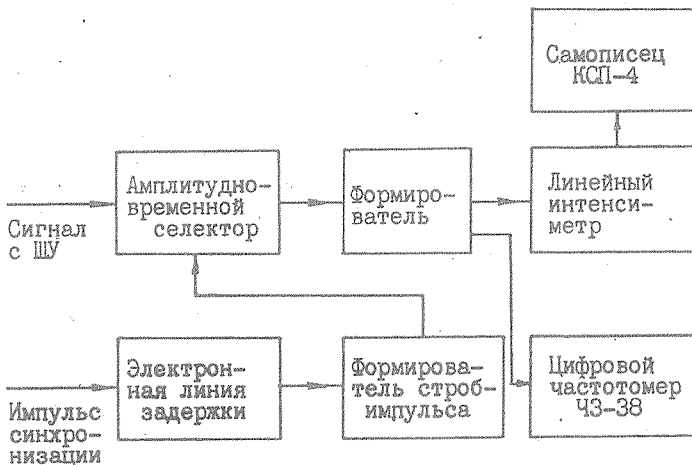
Известно, что применение стробирования в системе регистрации, основанной на методе счета фотонов, позволяет эффективно уменьшить вклад статистически распределенного шума ФЭУ в регистрируемый сигнал в Q раз (где Q – скважность импульсов стробирования) /2/. С этой точки зрения лазер на парах меди выгодно отличается от других лазерных источников вследствие возможности работать в режиме большой скважности и большой частоты следования импульсов /3,4/. В связи с этим в настоящей работе в качестве источника возбуждающего излучения был выбран лазер на парах меди.

Схема установки (рис. 1) для исследования КР "на отражение" состояла из следующих элементов: лазера на парах меди, осветительной системы с исследуемым образцом, монохроматора ДФС-24 и системы счета фотонов.



Р и с. 1. Схема установки для исследования КР "на отражение"

Используемый лазер работал с частотой следования импульсов 9 кГц. При этом возбуждались две линии генерации: $\lambda = 5106 \text{ \AA}$ и $\lambda = 5782 \text{ \AA}$ с длительностью светового импульса $\sim 20 \text{ нс}$ и средней мощностью до 5 Вт. Для уменьшения расходимости лазерного излучения применялся неустойчивый резонатор телескопического типа /5/. Рабочая линия генерации выбиралась с помощью диспергирующей призмы (рис. 1). Для получения спектра КР луч лазера направлялся на поверхность исследуемого образца под углом $\sim 70^\circ$ к нормали. Рассеянный свет собирался конденсором на щель монохроматора и регистрировался с помощью ФЭУ-79. Выбор ФЭУ-79 был обусловлен подходящей спектральной чувствительностью фотокатода и возможностью работать в режиме счета фотонов /1/. Сигнал с ФЭУ поступал на широкополосный усилитель и далее на счетчик фотонов. Счетчик фотонов (блок-схема которого представлена на рис. 2)



Р и с. 2. Блок-схема стробируемого счетчика фотонов

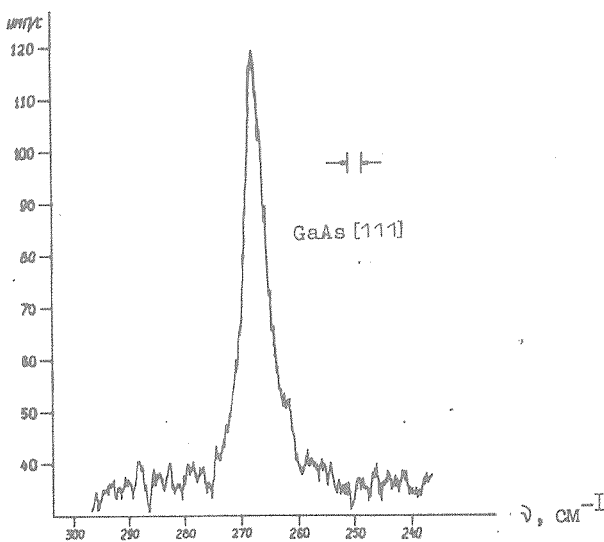
стробировался импульсами, поступающими на него с устройства синхронизации (рис. 1), выполненного на лавинном фотодиоде ЛФД-2.

Устройство запускалось импульсами лазерного излучения, отраженного от светоделительной пластинки. Сигнал с широкополосного усилителя поступал на амплитудно-временной селектор счетчика. Селектор представлял собой быстродействующий интегральный компаратор, аналогичный компаратору /6/, с плавной регулировкой уровня дискриминации амплитуды входного сигнала. Селектор регистрировал отдельные одноэлектронные импульсы, вызванные сигналом, только в момент прихода на него строб-импульса длительностью 35 нс. Строб-импульс вырабатывался формирователем, который запускался импульсом с устройства синхронизации, прошедшим через электронную линию задержки. Линия задержки позволяла осуществить временное совпадение строб-импульса с импульсом, вызванным сигналом КР, приходящим на селектор с широкополосного усилителя. Задержка начала строб-импульса относительно опорного импульса синхронизации могла регулироваться от 2,5 нс до 500 нс. Зарегистрированный сигнал с селектора поступал на формирователь, вырабатывающий нормализованный прямоугольный импульс длительностью 500 нс и амплитудой ~ 1 В. Этот импульс поступал на линейный интенсиметр, имеющий 7 пределов измерений, при переключении которых его чувствительность могла изменяться на три порядка, а также пять диапазонов постоянной времени (от 0,6 с до 48 с). Интенсиметр преобразовывал среднюю частоту появления нормализованных импульсов в напряжение. Выход интенсиметра был подключен к самописцу КСП-4. Отклонение пера самописца было пропорционально числу импульсов, поступающих на интенсиметр. Для более точного измерения интенсивности слабых сигналов импульсы, поступающие на вход интенсиметра, могли одновременно подаваться на вход цифрового частотомера ЧЗ-38.

Счетчик фотонов работал как в режиме непрерывного счета, так и в режиме стробирования. В непрерывном режиме счета фотонов ФЭУ-79 при оптимальном уровне дискриминации давал 250-300 шумовых импульсов в секунду. В режиме стробирования при скважности ~ 3000 число шумовых импульсов составило $\sim 0,1$ имп/с.

Вид спектра КР для кристалла GaAs, полученный с помощью обсуждаемой системы регистрации, работавшей в режиме стробирования, показан на рис. 3. Плоскость пластины кристалла имела ориентацию (111). При этом спектральная ширина щели монохромато-

ра составляла $2,5 \text{ см}^{-1}$. При работе системы регистрации в режиме непрерывного счета спектр КР в GaAs не наблюдался.



Р и с. 3. Спектр КР первого порядка кристалла GaAs, полученный с помощью стробируемого счетчика фотонов

Было проведено также сравнение чувствительности системы счета фотонов в режиме стробирования и усилителя постоянного тока от фотоэлектрической приставки ФЭП-3 при одинаковых условиях, с учетом требований к линейному режиму работы системы счета фотонов /7/. Сравнение проводилось по относительным интенсивностям спектра КР первого порядка в кристалле GaP. Оно показало, что система счета фотонов со стробированием позволяет увеличить чувствительность к сигналу в 57 раз по сравнению с усилителем постоянного тока.

Таким образом, описанная выше методика исследования КР в кристаллах с помощью лазера на парах меди позволяет надежно регистрировать спектры слабых сигналов КР в режиме непрерывно-

го сканирования по спектру. Кроме этого, работа системы счета фотонов в режиме накопления сигнала позволит регистрировать спектры сверхслабых сигналов КР по точкам за время, сравнимое с временем записи обычных сигналов КР. Применение стробирующего импульса длительностью ~ 35 нс даст возможность существенно ослабить люминесценцию при изучении спектров КР в кристаллах.

Поступила в редакцию

15 сентября 1981 г.

Л и т е р а т у р а

1. С. С. Ветохин и др., Одноэлектронные приемники, М., "Атомиздат", 1979 г.
2. В. А. Зубов, М. М. Суцинский, И. К. Цувалов, УФН, 89, 49 (1966).
3. А. А. Исаев, М. А. Казарян, Г. Г. Петраш, Письма в ЖЭТФ, 16, 40 (1972).
4. Б. В. Игнатьев, А. А. Соболев, ЖЭТФ, 4, 142 (1978).
5. К. И. Земсков и др., Квантовая электроника, I, 863 (1974).
6. Е. А. Мелешко, Интегральные схемы в наносекундной ядерной электронике, М., "Атомиздат", 1978 г.
7. Ю. Н. Поливанов, Р. Ш. Саяхов, Препринт ФИАН № 65, 1980 г.