

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «НОВОСИБИРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ».

Физический факультет

Кафедра общей физики

Винакович Алексей Николаевич

КУРСОВАЯ РАБОТА

Измерение чувствительности ПЗС-матрицы.
Электромагнитный практикум, 2 курс, группа № 18310

Научный руководитель:

м. н. с. И. В. Осинных

Оценка научного руководителя

«_____»_____2019г.

Преподаватель практикума

Оценка преподавателя практикума

«_____»_____2019г.

Куратор практикума:

к. т. н. В. Т. Астрелин

Итоговая оценка

«_____»_____2019г.

Новосибирск, 2019 г.

Аннотация: спектрографами компании Princeton Instruments пользуются во всем мире, поэтому измерение чувствительности ПЗС-матрицы спектрографа Acton Advanced sp2500A актуальной задачей. Для эксперимента в качестве источника излучения была взята галогенная лампа. Для неё был вычислен истинный спектр. Также в ходе работы был измерен и обработан экспериментальный спектр лампы. В работе учтены шумы, а также чувствительность дифракционной решётки. Результатом работы является кривая чувствительности ПЗС-матрицы построенная в спектральном диапазоне 400-1100 нм.

Оглавление

1	Введение	4
2	Теоретическая часть.....	4
2.1	Общее устройство и принцип работы ПЗС-матрицы	4
2.2	Чувствительность ПЗС-матрицы	6
3	Описание установки.....	7
4	Нормировка спектров ФЛ.....	8
5	Методика эксперимента	9
6	Обработка экспериментальных данных.....	9
7	Заключение	11
8	Список литературы	11

1 Введение

ПЗС-матрица (прибор с зарядовой связью) — специализированная аналоговая интегральная микросхема, состоящая из светочувствительных фотодиодов, выполненная на основе кремния, использующая технологию ПЗС— приборов с зарядовой связью. Одной из характеристик ПЗС-матрицы, является чувствительность — способность определенным образом реагировать на световое излучение. Чем выше чувствительность, тем меньшее количество света требуется для реакции регистрирующего устройства. Чувствительность является важным параметром ПЗС-матрицы [1]

Целью данной работы является измерение чувствительности ПЗС-матрицы спектрографа Princeton Instruments Acton Advanced sp2500A.

2 Теоретическая часть

2.1 Общее устройство и принцип работы ПЗС-матрицы

Упрощенно ПЗС можно рассматривать как матрицу близко расположенных конденсаторов со структурой металл-диэлектрик-полупроводник (МОП). В качестве полупроводника в ПЗС обычно используется кристаллический кремний, а в качестве изолятора - оксиды кремния. С физической точки зрения, ПЗС интересны тем, что электрический сигнал в них представлен не током или напряжением, как в большинстве других твердотельных приборах, а зарядом. При соответствующей последовательности тактовых импульсов напряжения на электродах МОП-конденсаторов зарядовые пакеты можно переносить между соседними элементами прибора.

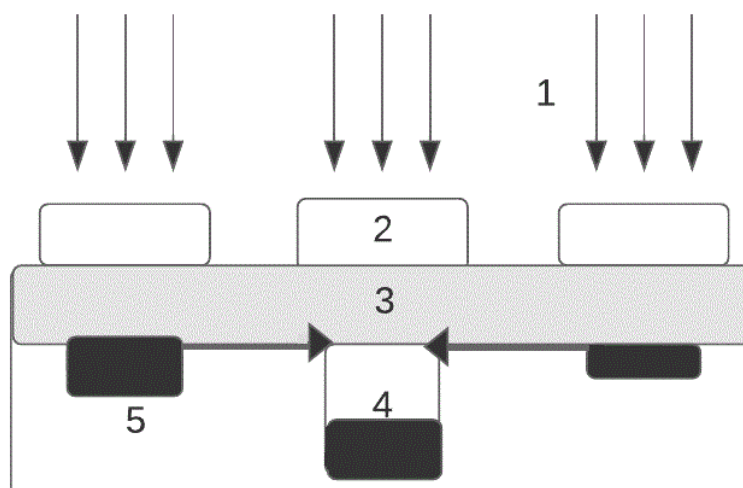


Рис. 1. Структура элемента ПЗС: 1-фотоны; 2 – металлический электрод; 3 – диоксид кремния; 4 – потенциальная яма; 5 – кремниевая подложка

На рис. 1 изображена структура одного элемента линейного трехфазного ПЗС в режиме накопления. Структура состоит из слоя кремния р-типа (5), изолирующего слоя (3) и набора пластин – электродов (2). Один из электродов смещен более положительно, чем остальные два, и именно под ним происходит накопление заряда.

Если подать небольшой положительный потенциал на один из электродов ячейки трехфазного ПЗС, а два других электрода оставить под нулевым потенциалом относительно подложки, то под положительно смещенным электродом образуется потенциальная яма (4). Когда кремнием поглощается фотон (1), то создаётся пара носителей заряда - электрон и дырка. Электростатическое поле в области элемента вытесняет дырку внутрь кремния, а электроны накапливаются в потенциальной яме под электродом, к которому подведен положительный потенциал. Здесь они могут храниться достаточно длительное время, поскольку электроны не рекомбинируют, так как дырок в обедненной области нет. Заряд, накопленный под одним электродом, в любой момент может быть перенесен под соседний электрод, если его потенциал будет увеличен, в то время как потенциал первого электрода будет уменьшен. Если все три электрода элемента

ПЗС находятся под нулевым потенциалом, то накопление генерированных светом электронов не происходит [2].

Для считывания на затворы последовательно подается положительное и нулевое напряжение, и заряд передвигается от затвора к затвору до достижения границы массива, где считывается с помощью аналого-цифрового преобразования.

2.2 Чувствительность ПЗС-матрицы

Чувствительность ПЗС-матрицы формируется из чувствительности всех её пикселей и в общем зависит от двух величин. Интегральная чувствительность - отношение величины фототока (в миллиамперах) к световому потоку (в люменах) от источника излучения, спектральный состав которого соответствует вольфрамовой лампе накаливания. Она даёт возможность оценить чувствительность сенсора. Монохроматическая чувствительность - отношение величины фототока (в миллиамперах) к величине световой энергии излучения (в миллиэлектронвольтах), соответствующей определённой длине волны. Набор всех значений монохроматической чувствительности для интересующей части спектра составляет спектральную чувствительность — зависимость чувствительности от длины волны света. Таким образом, спектральная чувствительность показывает возможности сенсора по регистрации оттенков определённого цвета.

Чувствительность матрицы является интегральной величиной, зависящей от чувствительности каждого ПЗС-элемента. Ну а чувствительность пикселя матрицы зависит, во-первых, от площади светочувствительной области, а во-вторых, от квантовой эффективности, то есть отношения числа зарегистрированных электронов к числу упавших на поверхность сенсора фотонов [3]. В данной работе чувствительность ищется как отношение экспериментального спектра к истинному.

Из-за высокой чувствительности ПЗС-матрица улавливает космические излучения. Они проявляются в виде случайных всплесков. Также нужно учесть темновой ток, который влияет на полученный результат.

В физике темновым током называют небольшой электрический ток, который протекает через фоточувствительный детектор при отсутствии поглощенных фотонов. Физической причиной существования темнового тока являются тепловые генерации электронов и дырок в р-п слое полупроводникового прибора или внутри полупроводника, которые затем начинают упорядоченно передвигаться за счет сильного электрического поля. При уменьшении температуры темновой ток всех приёмников излучения понижается, поэтому высокочувствительные приёмники обычно охлаждают до низких температур, как правило, жидким азотом.

3 Описание установки

Установка для измерения спектров стационарной фотолюминесценции (ФЛ), использованная при проведении данной работы, была построена на базе промышленных спектрометров с использованием галогенной лампы в качестве источника света. Блок-схема установки представлена на рис. 2. Основными ее элементами являются спектрометр Acton sp2500A (1), галогенная лампа (2), блок питания Тес15 (4), система регистрации ФЛ и управления установкой на основе ЭВМ (5).

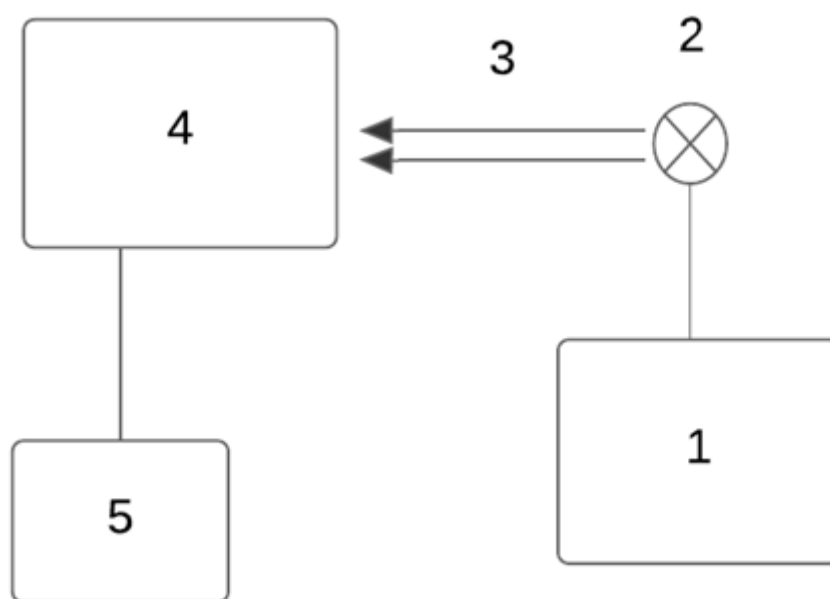


Рис. 1. Схема установки: 1-блок питания, 2 – галогеновая лампа, 3 – излучение ФЛ, 4–спектрометр, 5 – ЭВМ

Для разложения излучения ФЛ в спектр использовался одинарный дифракционный спектрограф Acton sp2500A. Основные характеристики спектрометра были взяты с сайта производителя [4].

Перед тем как попасть на ПЗС-матрицу, свет проходит через дифракционную решётку, раскладываясь на спектры. Дифракционная решётка, как и ПЗС-матрица, имеет свою чувствительность. В работе были использованы три разные решётки, графики их чувствительностей приведены на рис. 3 [4]

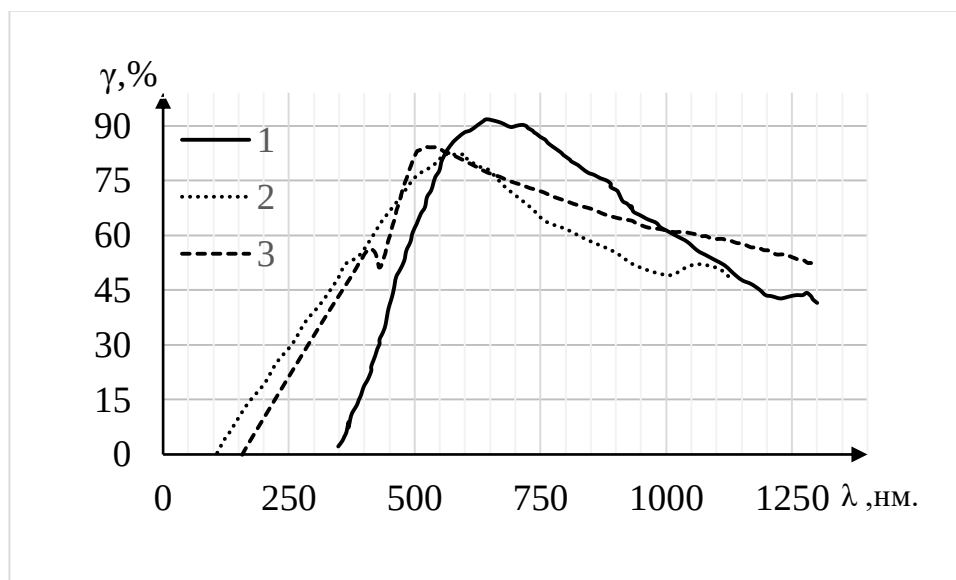


Рис. 3. График чувствительности дифракционных решёток: 1) 300 штр/мм, 2) 600 штр/мм, 3) 1200 штр/мм

4 Нормировка спектров ФЛ

При измерении спектров ФЛ в широком спектральном диапазоне необходимо учитывать то, что исходные спектры могут искажаться из-за спектральной зависимости пропускания оптической системы. Для нормировки спектров обычно измеряют спектр эталонного источника, излучение которого близко к излучению абсолютно черного тела (АЧТ). Затем, зная спектр этого источника, определяют спектр пропускания спектрометра.

В соответствии с законом Кирхгофа выражение для яркости излучения ленточной лампы можно записать в виде:

$$P(\lambda, T) = \tau(\lambda) \varepsilon(\lambda, T) b(\lambda, T) \quad (1)$$

где $\varepsilon(\lambda, T)$ - коэффициент излучения, или коэффициент «серости» вольфрама как реального "нечерного" тела, $\tau(\lambda)$ - коэффициент пропускания окна лампы. $b(\lambda, T)$ - яркость АЧТ, которая задается формулой Планка:

$$b(\lambda, T) = (8\pi hc/\lambda^5) (\exp(hc/(\lambda kT)) - 1)^{-1} \quad (2)$$

где h - постоянная Планка, k - постоянная Больцмана, c - скорость света, T - абсолютная температура АЧТ [5]. Рассчитав $I(\lambda, T)$, получим истинный спектр.

5 Методика эксперимента

Главной задачей работы является измерение кривой чувствительности ПЗС-матрицы. Перед этим следует выполнить ряд задач. Во-первых, необходимо получить истинный спектр лампы по формуле (1). Во-вторых, нужно найти спектр лампы без шумов и с учётом чувствительности дифракционной решётки. Для начала следует провести измерения с выключенной лампой, так получим шум. Его нужно вычесть из экспериментально измеренного спектра лампы. Полученный график разделим на чувствительность решётки. В-третьих, нужно разделить спектр экспериментальный на истинный. Таким образом получим чувствительность ПЗС-матрицы.

6 Обработка экспериментальных данных

В ходе эксперимента был получен спектр лампы и спектр шумов. На рис. 4 изображен спектр с вырезанными шумами. Видно, что для первой решётки интенсивность в разы больше, чем у остальных. Это связано с дисперсией. Так как при работе со спектрометром часто используют решётку, у которой 300 штр/мм, то в дальнейшем будем работать с ней.

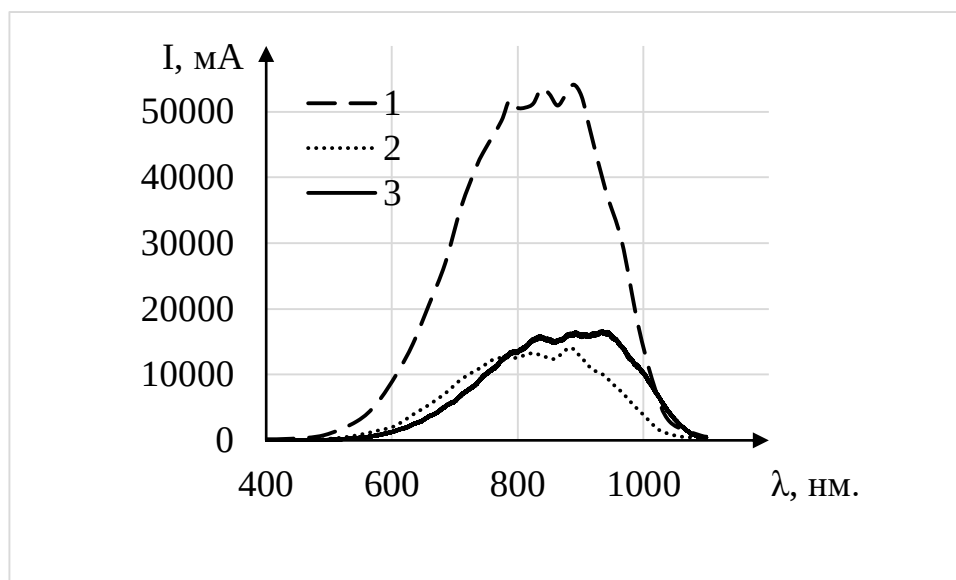


Рис. 4. Спектр лампы при разных дифракционных решётках: 1) 300 штр/мм, 2) 600 штр/мм, 3) 1200 штр/мм

На рис. 5 изображен спектр лампы с учетом чувствительности дифракционной решётки (1) и истинный спектр лампы (2).

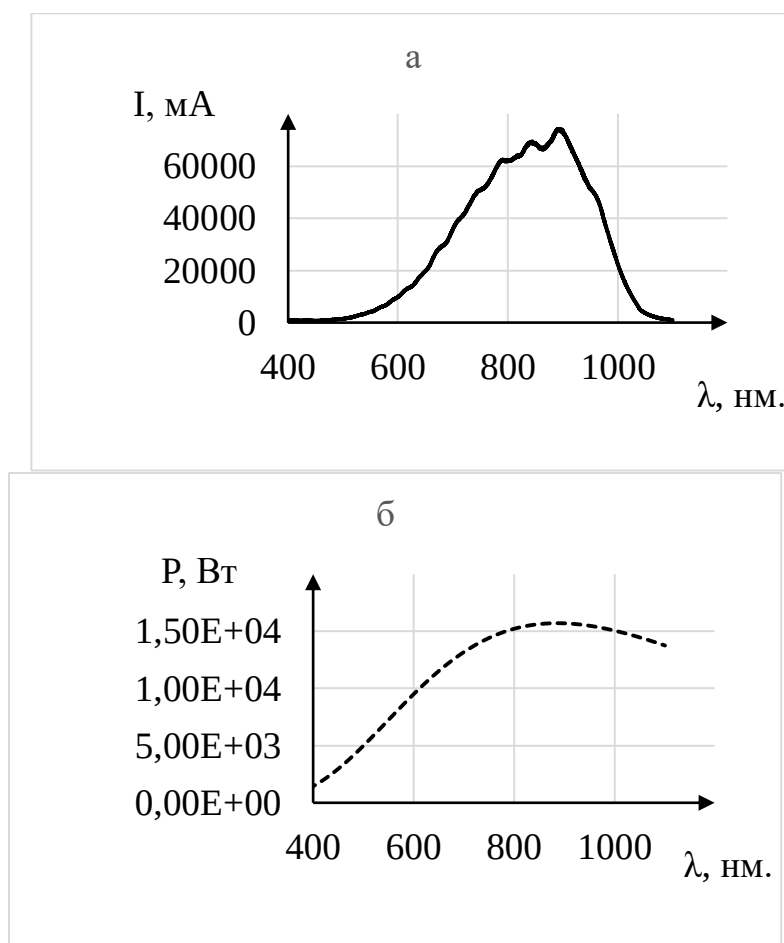


Рис. 5. Спектры лампы: а) спектр лампы, построенный с учётом чувствительности решётки, б) истинный спектр лампы

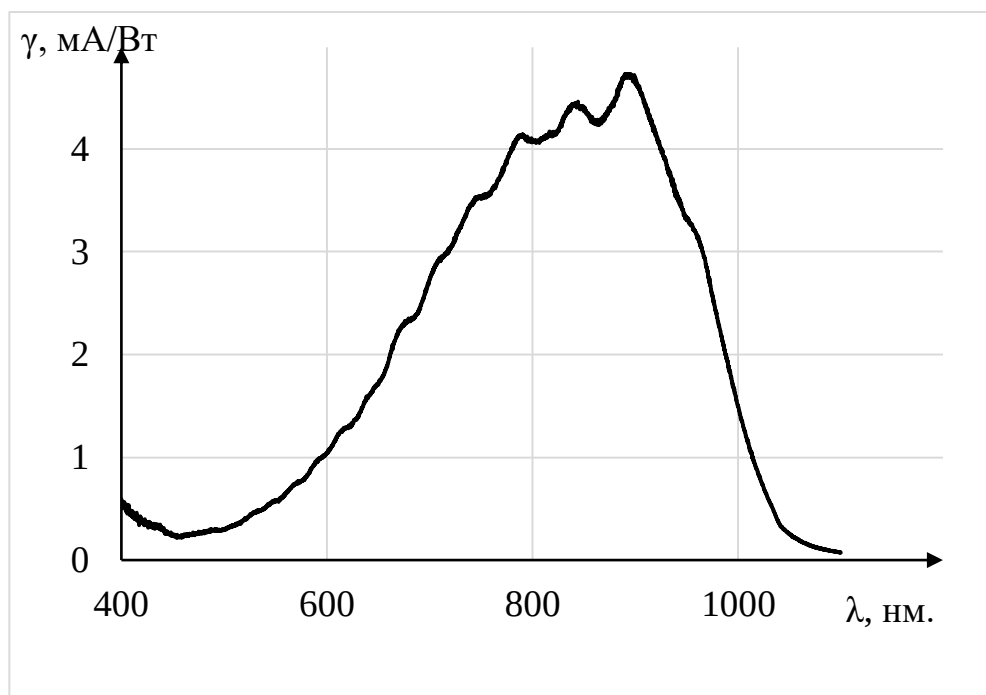


Рис.6. Кривая чувствительности ПЗС-матрицы

7 Заключение

В ходе эксперимента была получена кривая чувствительности ПЗС-матрицы в световом в спектральном диапазоне 400-1100 нм. Перед началом эксперимента не была проведена калибровки спектрографа, поэтому могла возникнуть ошибка. Также результаты могли быть улучшены, если б эксперимент был проведён несколько раз. Полученные данные предполагается использовать при дальнейшей работе с спектрографом Acton sp2500A.

8 Список литературы

1. <https://studfile.net/preview/4243426/page:9/>
2. https://studopedia.ru/4_36850_lektsiya-pzs-matritsi.html
3. <http://petroffoto.ru/pzsmatrix>
4. <https://www.yumpu.com/en/document/view/29018984/princeton-instruments-acton-advanced-series-monochromators-and->
5. Ткаченко С. И., Калинин Ю. Г. Исследование вещества по его излучающим характеристикам. Тепловые и газоразрядные источники излучения. М.: МФТИ, 2013. С. 34-35