

УДК 621.383

ИЗУЧЕНИЕ ФОТОЭФФЕКТА С ПОМОЩЬЮ УЧЕБНОГО КОМПЛЕКСА МУК-ОК

А.А. Шульгинов

Проведено исследование внешнего и внутреннего фотоэффекта с помощью учебного комплекса МУК-ОК. Изучение зависимости задерживающего напряжения вакуумного фотоэлемента от частоты света, падающего на фотокатод, позволило оценить постоянную Планка. Определена красная граница внешнего и внутреннего фотоэффекта. Оценена работа выхода электронов из фотокатода и ширина запрещённой зоны полупроводника. Исследованы световые характеристики вакуумного, полупроводникового фотодиода и фоторезистора.

Ключевые слова: фотоэффект, красная граница, работа выхода, запрещённая зона полупроводника.

Модульный учебный комплекс МУК-ОК «Квантовая оптика» производства ООО «Опытные приборы» [1] предназначен для проведения практикума по физике в высших учебных заведениях. Функционально комплекс разделён на 3 основных блока: блок управления, стенд с объектами и блок измерительных приборов. Блок управления содержит два регулируемых источника напряжения (0–6,3 В и 0–20 В) и источник питания двух светодиодных кластеров стенда с регулируемой интенсивностью. Стенд с объектами содержит вакуумный фотоэлемент, фоторезистор и фотодиод, совмещённые со светодиодными кластерами (8 длин волн). Блок измерительных приборов содержит вольтметр и амперметр. В состав комплекса могут входить и другие блоки, но все перечисленные блоки необходимы для изучения таких фотоэлектрических явлений, как внешний и внутренний фотоэффект.

Изучение внешнего фотоэффекта с помощью вакуумного фотоэлемента

Схема подключения вакуумного фотоэлемента показана на рис. 1. Если подключить вольтметр к клеммам вакуумного фотоэлемента, то, учитывая, что сопротивление вольтметра гораздо меньше сопротивления фотоэлемента, амперметр будет измерять силу тока через вольтметр. Вольтметр должен быть подключен к клеммам источника напряжения. Такая схема позволяет исследовать вольтамперную, световую и спектральную характеристики фотоэлемента [2–4].

Основные результаты исследования показаны на рис. 2–5. Ток насыщения наблюдается при приложении к фотоэлементу положительной разности потенциалов около 15 В (рис. 2). Задерживающее напряжение, полученное по вольтамперной характеристике (рис. 3), не является точным, т.к. катод и анод фотоэлемента выполнены из разных материалов, и при протекании тока между ними возникает контактная разность потенциалов, которая добавляется к внешнему напряжению. Поэтому определить красную границу фотоэффекта в этом измерении невозможно, но эта добавка не мешает оценить постоянную Планка по угловому коэффициенту прямой (рис. 3). Она получается равной $h = 4,0 \cdot 10^{-34}$ Дж·с. Погрешность составляет около 40 %.

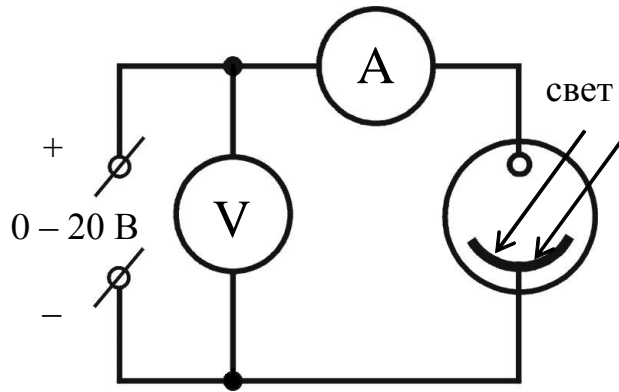


Рис. 1. Электрическая схема подключения вакуумного фотоэлемента

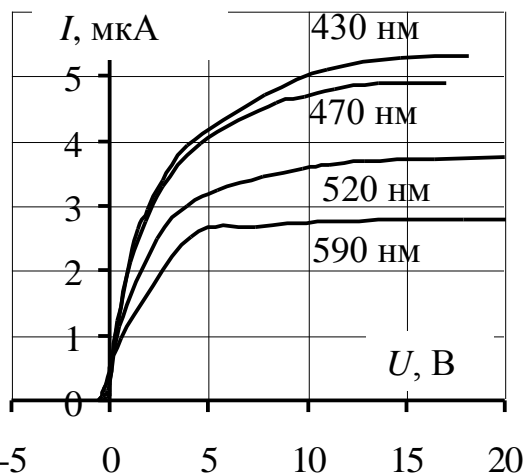


Рис. 2. Вольтамперная характеристика фотоэлемента при воздействии света разных длин волн

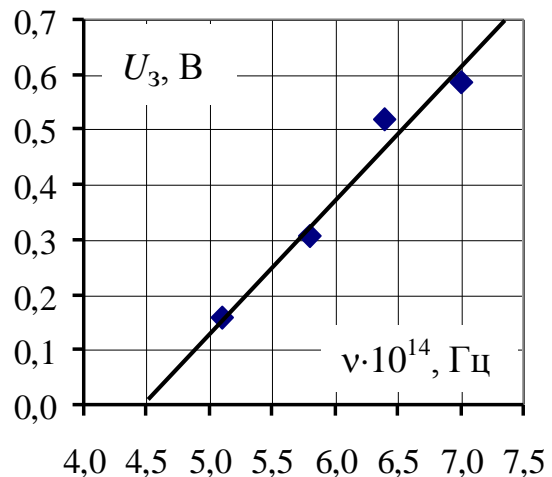


Рис. 3. Зависимость задерживающего напряжения от частоты падающего света

Световая характеристика фотоэлемента, т.е. зависимость фототока I насыщения от падающего светового потока Φ , показывает линейность фотоэлемента в широком диапазоне интенсивностей и для разных длин волн падающего света (рис. 4). Спектральная характеристика фотоэлемента показана на рис. 5. Путём экстраполяции по ней можно определить красную границу фотоэффекта ($\lambda_{кр} = 790$ нм), а также работу выхода электронов из фотокатода ($A = 1,56$ эВ).

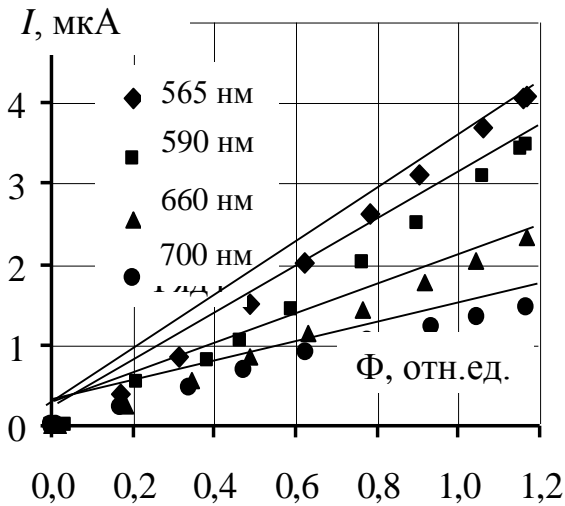


Рис. 4. Световая характеристика фотоэлемента при воздействии света разных длин волн

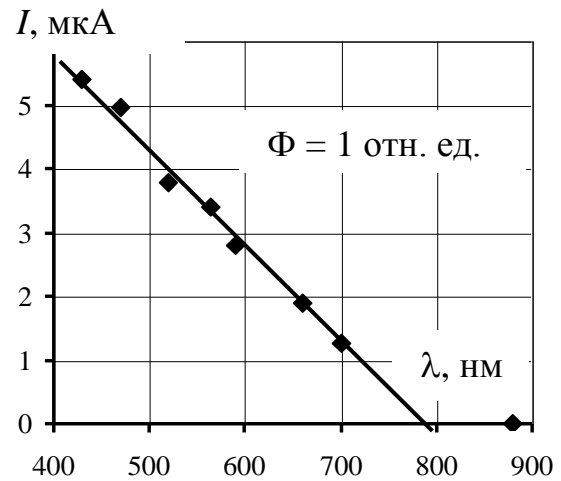


Рис. 5. Спектральная характеристика фотоэлемента

Изучение внутреннего фотоэффекта с помощью полупроводникового фоторезистора и фотодиода

Для исследования внутреннего фотоэффекта в модульном комплексе МУК-ОК имеются встроенные полупроводниковые элементы: фотодиод и фоторезистор. При воздействии света на фоторезистор, у него изменяется сопротивление, которое определяется путём измерения силы тока и напряжения на нём. Основные результаты измерений представлены на рис. 6 и 7.

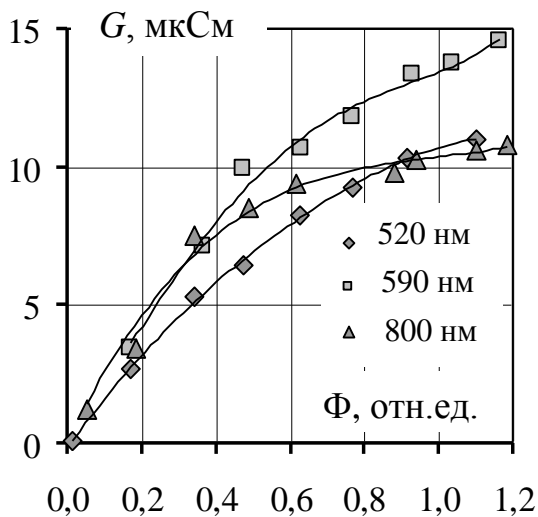


Рис. 6. Световая характеристика фоторезистора при воздействии света разных длин волн

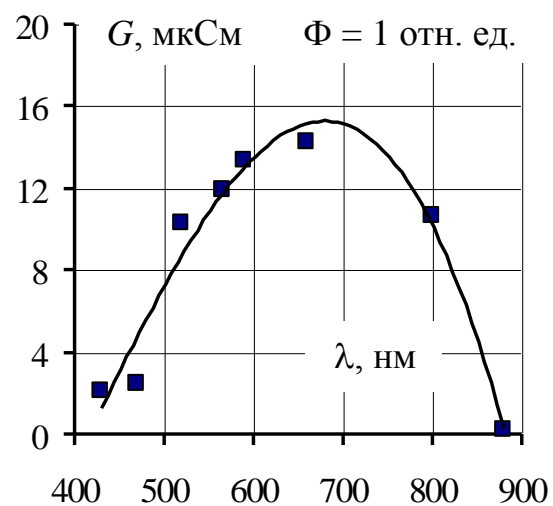


Рис. 7. Спектральная характеристика фоторезистора

Световая характеристика фоторезистора (рис. 6) – это зависимость его проводимости $G = 1/R$ от падающего светового потока Φ . Заметна существенная нелинейность этой функции при падении светового потока разных длин волн. Спектральная характеристика фоторезистора показывает диапазон чувствительности, который для данного фоторезистора составляет 420–880 нм. Красная граница фотоэффекта составляет 880 нм, что соответствует ширине запрещённой зоны – 1,40 эВ. Это близко соответствует ширине запрещённой зоны GaAs (1,42 эВ).

При воздействии света на фотодиод на его клеммах возникает разность потенциалов, которую измеряют с помощью вольтметра. Фотодиод в этих измерениях работал в вентильном режиме, т.е. внешний источник тока не подключался. В результате, было получено семейство световых характеристик – зависимостей разности потенциалов U на клеммах фотодиода от светового потока Φ при падении излучений разных длин волн (рис. 8). Кроме того, была определена спектральная характеристика фотодиода (рис. 9) – зависимость U от длины волны падающего излучения при одинаковом световом потоке. В исследованном спектральном диапазоне фотодиод проявляет незначительную селективность. Вероятно, красная граница фотоэффекта находится в ИК-диапазоне.

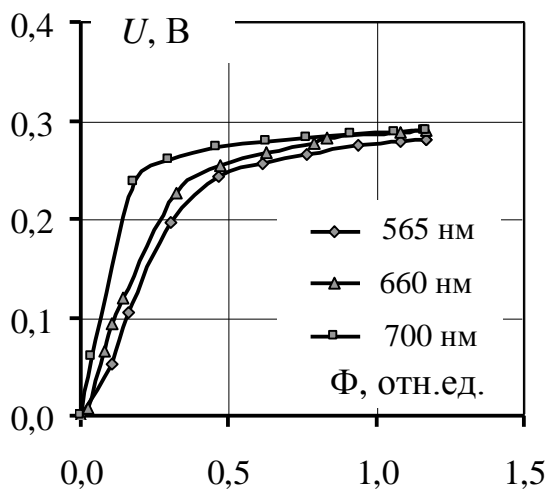


Рис. 8. Световая характеристика фотодиода при воздействии света разных длин волн

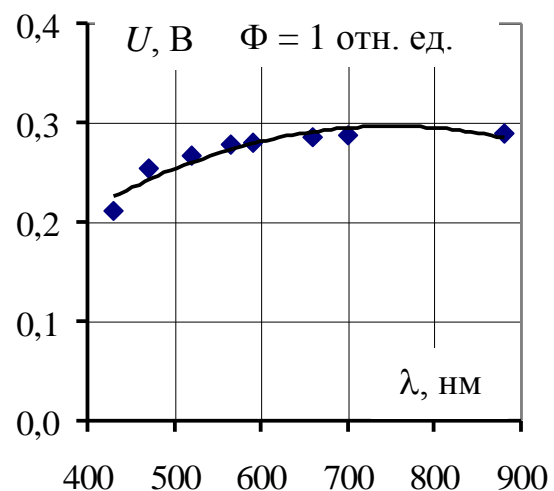


Рис. 9. Спектральная характеристика фотодиода

Таким образом, лабораторный комплекс МУК-ОК позволяет достаточно полно исследовать явления внешнего и внутреннего фотоэффекта. Но для определения красной границы внутреннего фотоэффекта на фотодиоде, необходимо либо расширить спектральный диапазон излучений до 2–3 мкм, либо заменить его на другой фотодиод, у которого красная граница не превышает 1 мкм.

Автор выражает благодарность студентам группы МТ-249 ЮУрГУ А.И. Альтдинову, А.Д. Кондакову, И.Е. Левшину и А.С. Лищуку за выполненные измерения, положенные в основу статьи.

Библиографический список

1. Физика. Модульный учебный комплекс МУК-ОК. – URL: <http://www.opprub.ru/main/labor/html/complex/muk-ok.php>.
2. Ландсберг, Г.С. Оптика. Учебное пособие / Г.С. Ландсберг. – 5-е изд. испр. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1976. – 928 с.
3. Сивухин, Д.В. Курс общей физики (в 5 томах). Т. 4. Оптика: учебное пособие для вузов / Д.В. Сивухин. – 3-е изд. стер. – М.: Физматлит, 2006. – 792 с.
4. Савельев, И.В. Курс общей физики (в 3-х томах). Т.3. Квантовая оптика. Атомная физика. Физика твёрдого тела. Физика атомного ядра и элементарных частиц / И.В. Савельев. – М.: Изд-во Лань, 2008. – 320 с.