

номеров  $1 \dots N/2 \dots i \dots N$  соответствующих этим моментам и отмечены интервалы времени  $t_1$ ,  $t_2$  и  $t_3$ , в течение которых испытательный сигнал напряжения изменяется сравнительно медленно.

Как видно из рисунка, форма испытательного сигнала  $U_{исп.}$  на участке между интервалами  $t_1$  и  $t_3$  повторяет форму выпрямленного напряжения  $U_{вып.}$ , так как из-за большого сопротивления выпрямительного диода, при малой величине напряжения на нем, сглаживающий конденсатор никогда не заряжается до напряжения  $U_a$ . В течение интервала  $t_1$  напряжение испытательного сигнала  $U_{исп.}$  существенно меньше  $U_a$ . Интервал  $t_2$  весьма мал и, из-за большой скорости изменения напряжения за его пределами, возможно появление искажений ВАХ типа "петля". Поэтому, использование участков  $t_1$  и  $t_2$  испытательного сигнала для определения координат отображаемых точек ВАХ нецелесообразно.

Для измерения ВАХ согласно предлагаемому методу, в ИППП-3 используется участок испытательного сигнала на интервале  $t_3$ , на котором напряжение испытательного сигнала  $U_{исп}$  мало отличается от амплитуды выпрямленного напряжения  $U_a$ , а паразитная емкостная составляющая тока минимальна.

При этом, задержку момента определения координат отображаемых точек ВАХ относительно начала выпрямленной полуволны переменного напряжения формируют в процессе дискретизации сигналов тока и напряжения воздействующих на ПОТ. Дискретизацию осуществляют с постоянным интервалом равным  $T/2N$ , причем в ИППП-3  $N$  равно 200 [3].

Принцип формирования упомянутой задержки заключается в том, что все точки ВАХ, полученные в процессе дискретизации, нумеруют от 1-й до  $N$ -й, а в качестве координат отображаемой точки ВАХ используют координаты  $i$ -й точки, расположенной на участке испытательного сигнала с малой скоростью изменения напряжения, как показано на рисунке 1.

1. Измеритель характеристик полупроводниковых приборов Л2-56. Техническое описание. - 177 с.
2. 370B Programmable Curve Tracer. User Manual. - USA: Tektronix, Inc 1990.- 238с.
3. Измеритель параметров полупроводниковых приборов ИППП-3. Руководство по эксплуатации. УШЯИ.411251.005 РЭ. часть первая 41с., часть вторая 34с.

УДК 535.241

## МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОДИОДОВ С ПОМОЩЬЮ ИППП-1

Лисенков Б.Н.<sup>1</sup>, Грицев Н.В.<sup>1</sup>, Аксенов Ю.Н.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Открытое акционерное общество "МНИПИ", Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Высший государственный колледж связи, Минск, Республика Беларусь

Методика предназначена для ознакомления студентов с современными методами измерения параметров и характеристик полупроводниковых фотодиодов (ФД) с помощью измерителя параметров полупроводниковых приборов ИППП-1, включающего персональный компьютер (ПК) и управляющий пакет программного обеспечения (ПО), который регистрирует и отображает на экране ПК измеренные и расчетные электрические характеристики в виде графиков и таблиц.

Методика основана на использовании двух источников-измерителей (ИИ) тока или напряжения входящих в состав ИППП-1, к входу/выходу одного из которых подключают исследуемый ФД. При этом, другой ИИ служит для управления уровнем освещенности исследуемого ФД с помощью подключенного к его входу/выходу полупроводникового светоизлучающего диода (СИД). Структурная схема измерительной установки, реализующей предлагаемую методику, представлена на рисунке 1.

Один ИИ формирует ступенчатую развертку первой очереди по напряжению на ФД и

на каждой ступени измеряет протекающий через него ток. Развертка может быть линейной, логарифмической или списком (произвольной). Развертка первой очереди обеспечивает измерение одной линии ВАХ.

Другой ИИ формирует ступеньку тока постоянного уровня, протекающего через СИД, с длительностью равной длительности ступенчатой развертки (по напряжению) на ФД – так называемую развертку второй очереди. Развертка второй очереди позволяет провести измерение семейства ВАХ.

ИППП-1 обеспечивает формирование и измерение токов от  $\pm 10$  пА до  $\pm 200$  мА и напряжений от  $\pm 1$  мВ до  $\pm 120$  В, при базовой погрешности 0,5%. Величина дискрета в каждом из диапазонов измерения тока и напряжения (разрешающая способность) для ИППП-1 составляет 1/2000 (0,05%), 1/20000 (0,005%) или 1/200000 (0,0005%), в зависимости от установленного режима интегрирования.

Для исключения погрешности обусловленной сопротивлением кабелей, при формиро-

вании тока через светодиод целесообразно использовать двухпроводные ИИ (ИИД), как показано на рисунке 1.

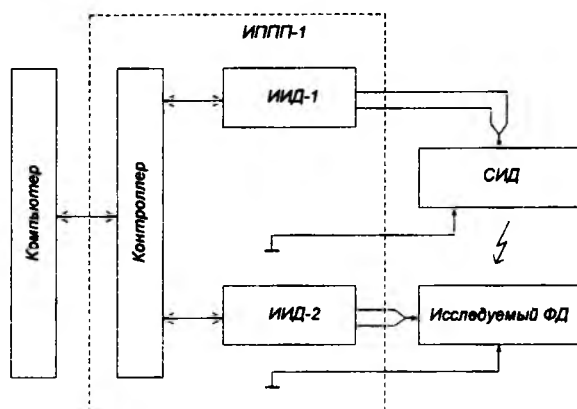


Рисунок 1 – Структурная схема измерительной установки на базе ИППП-1.

Для иллюстрации возможностей предлагаемой методики, на рисунках 2, 3, 4 представлены результаты измерения ВАХ ФД при разных уровнях освещенности, которая определяется величиной тока, протекающего через СИД. В качестве ФД и СИД использованы элементы диодной оптопары АОД101А (I<sub>вх.макс</sub> = 20 мА, U<sub>обр.макс</sub> = -15 В). Это исключает влияние внешней освещенности и необходимость согласования спектров излучения и поглощения.

Возможность ограничения прямого тока через фотодиод, при использовании ИППП-1, позволяет защитить его от разрушения.

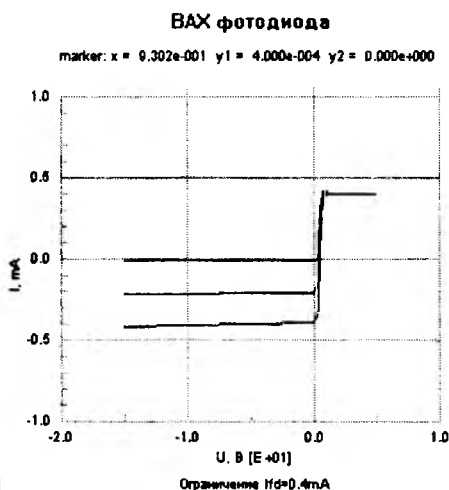


Рисунок 2 – Семейство ВАХ фотодиода в диапазоне от -15 В до 5 В при ограничении тока через ФД на уровне 0,4 мА и трех уровнях тока через СИД (0 мА, 10 мА, 20 мА).

График, представленный на рисунке 2, отображает все участки ВАХ, однако с его помощью сложно оценить величину темнового тока и поведение ВАХ в четвертом квадранте.

Для наглядности эти участки целесообразно исследовать по отдельности, в других диапазонах тока и напряжения.

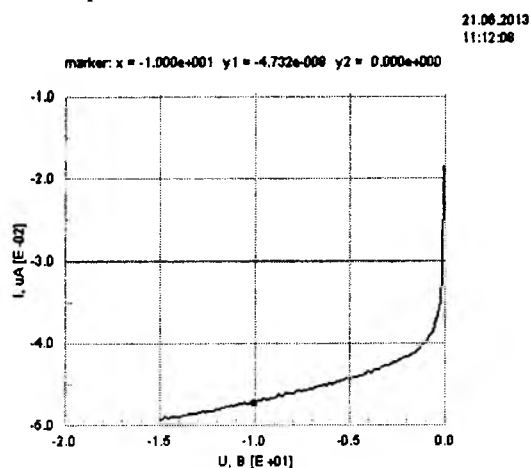


Рисунок 3 – Зависимость темнового тока фотодиода от обратного напряжения.

На рисунке 3 показан детализированный участок зависимости темнового тока ФД от обратного напряжения. При этом, масштаб по оси "x" увеличен на порядок, а по оси "y1" (левая) – на 5-ть порядков, по сравнению с ВАХ на рисунке 2. Маркер выделяет на графике точку, координаты которой в цифровом виде отображаются над полем графика, например на рисунке 3, x = -1.000e+001, y1 = 4.732e-008.

На рисунке 4 представлено семейство ВАХ фотодиода при трех разных уровнях освещенности для исследования работы ФД в фотогальваническом режиме. Масштаб, по сравнению с рисунком 2, увеличен по обеим осям.

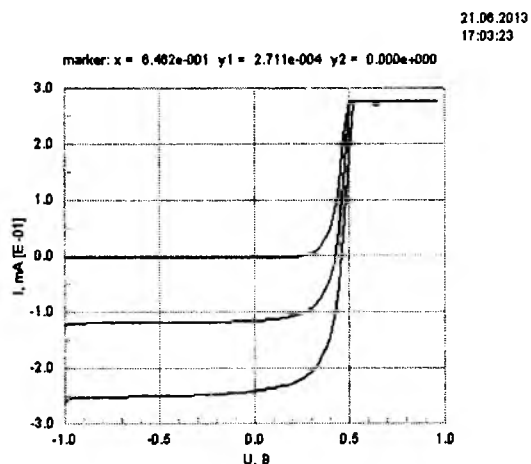


Рисунок 4 – Семейство ВАХ фотодиода в четвертом квадранте, при ограничении прямого тока через ФД на уровне 0,27 мА.

При измерении ВАХ в четвертом квадранте ИИ служит в качестве электронной нагрузки для фотодиода [1].

Таким образом, с помощью ИППП-1 можно определить темновое и световое сопротивление ФД в заданных точках, сопротивление ФД при нулевом смещении, темновой ток и фототок в заданных точках.

На рисунках 5 и 6 показаны зависимости тока короткого замыкания и напряжения холостого хода ФД от тока через СИД в логарифмических координатах.

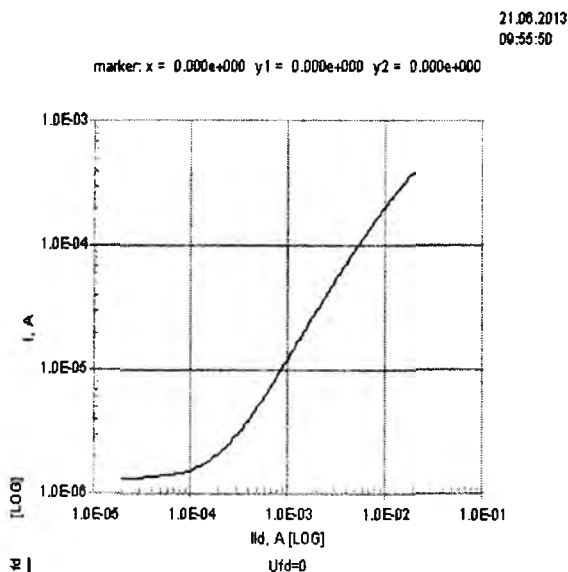


Рисунок 5 – Зависимость тока короткого замыкания фотодиода от тока светодиода.

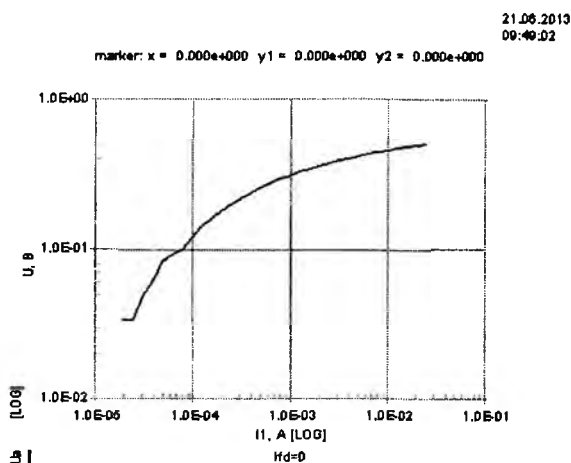


Рисунок 6 – Зависимость напряжения холостого хода на фотодиоде от тока светодиода

Если, при измерении этих характеристик использовать предварительно откалиброванный светодиод, то, зная соответствие между заданным током и уровнем освещенности, можно построить зависимости тока короткого замыкания и напряжения холостого хода ФД от интенсивности освещения.

Методика используется при проведении лабораторных работ по курсу “Оптоэлектроника” в высшем государственном колледже связи.

1. Фираго, В.А. Приемники излучения / В.А. Фираго – Мн.: БГУ, 2005. – 118 с.

УДК 535.327

## ИЗМЕРИТЕЛЬ ТЕМПЕРАТУРНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ПОКАЗАТЕЛЯ ПРЕЛОМЛЕНИЯ ЛАЗЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Лойко П.А., Скипор В.Г., Маляревич А.М., Юмашев К.В.  
Белорусский национальный технический университет,  
Минск, Республика Беларусь

Температурно-обусловленное изменение длины оптического пути в генерирующих материалах негативно влияет на выходные характеристики твердотельных лазеров [1]. Данное изменение вызывается температурной зависимостью показателя преломления и эффектом термического расширения и описывается т.н. термическим коэффициентом оптического пути  $W = dn/dT + (n-1)\alpha$  [2].

Коэффициенты теплового расширения  $\alpha$  могут быть относительно просто определены при помощи дилатометрического метода. Величины показателя преломления  $n$  и его температурного коэффициента  $dn/dT$  определяются методом минимальных отклонений.

Данный метод неприменим для исследования анизотропных лазерных кристаллов. Недавно для решения этой задачи был предложен относительно простой метод, основанный на от-

клонении зондирующего лазерного пучка в образце, в котором сформирован линейный градиент температуры [3].

Целью данной работы является разработка принципиальной схемы, обоснование конструктивных особенностей и изготовление опытного образца измерителя температурного коэффициента показателя преломления, реализующего данный метод. Работа проводилась в рамках задания 5 подпрограммы «Научно-учебное оборудование» ГНТП «Эталон и научные приборы».

В результате выполнения работы разработан комплект рабочей КД на изготовление измерителя и изготовлен его опытный образец.

В состав опытного образца измерителя входят: блок лазерного зондирования; блок формирования зондирующего лазерного излучения; кюветное отделение; блок регистрации зондирующего лазерного излучения (рисунок 1).