

ИОНЫЧЕВ В. К., ШЕСТЕРКИНА А. А., КАДЕРКАЕВ Р. Р., СИМДЯНКИН М. И.
АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ
МИКРОПЛАЗМЕННОГО ПРОБОЯ В P-N-ПЕРЕХОДАХ

Аннотация. Приведено описание метода и установки для исследования микроплазменного пробоя $p-n$ -перехода. Показано, что задержка лавинного пробоя позволяет определять параметры глубоких центров, локализованных в микроплазменных каналах $p-n$ -переходов, что невозможно определить другими методами.

Ключевые слова: микроплазменный пробой, задержка лавинного пробоя, глубокие центры.

IONYSHEV V. K., SHESTERKINA A. A., KADERKAEV R. R., SIMDYANKIN M. I.
COMPUTER-ASSISTED APPARATUS FOR RESEARCHING
MICROPLASMA BREAKDOWN IN P-N JUNCTIONS

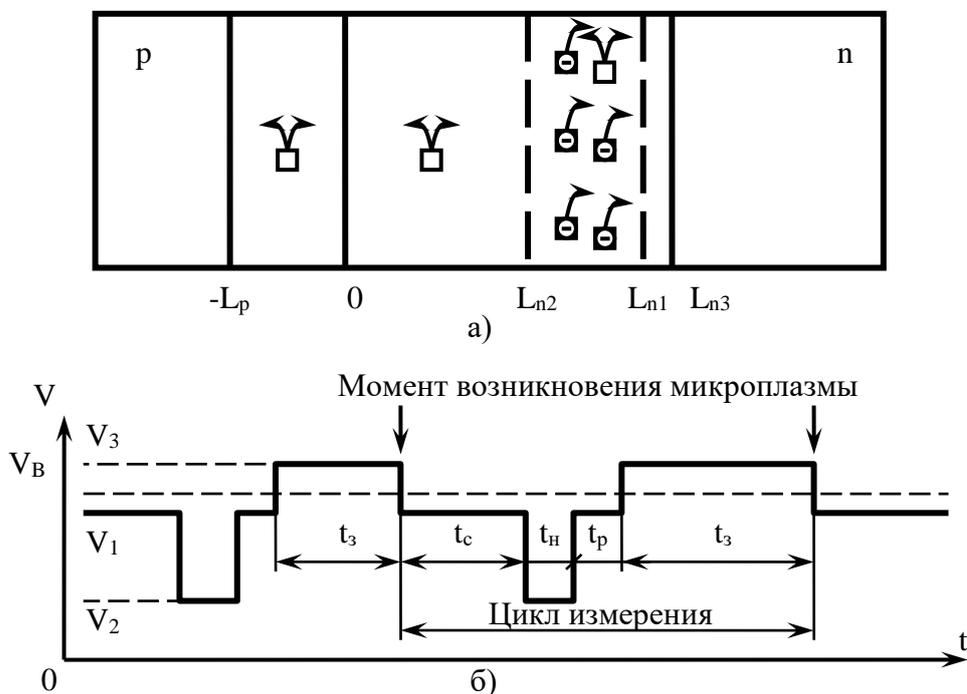
Abstract. The paper gives a description of the method and apparatus for defining of the $p-n$ junction microplasma breakdown. It is shown that the delay of microplasma breakdown allows us to define deep center parameters located in microplasma channels of $p-n$ junctions and there are no other ways to do that.

Keywords: microplasma breakdown, delay of microplasma breakdown, deep centers.

В формировании обратных вольтамперных характеристик $p-n$ -переходов определяющую роль играют генерационно-рекомбинационные процессы с участием глубоких центров. В полупроводниковых диодах они могут приводить к увеличению обратных токов, изменению напряжения пробоя, неоднородностям пробоя по площади кристалла, релаксационным процессам и т.д.

В свою очередь генерационно-рекомбинационные процессы с участием глубоких центров (ГЦ) влияют на лавинный пробой $p-n$ -переходов. Лавинный пробой $p-n$ -переходов сильно локализован. В основном он развивается в местах скопления различного рода дефектов. Области локального пробоя имеют очень малые геометрические размеры и существенно меньшее напряжение пробоя по сравнению с однородными областями. Эти области сильно локализованного пробоя были названы микроплазмами [3]. Одним из основных проявлений микроплазменного эффекта в $p-n$ -переходах является импульсный характер лавинного тока. Длительности импульсов и пауз между ними случайны. Исследование лавинного пробоя и, в частности, его задержки позволяет изучать центры, расположенные непосредственно в микроплазменных каналах, что невозможно другими методами.

Суть метода состоит в следующем. Для примера рассмотрим p - n -переход, в котором имеются равномерно распределенные глубокие центры с энергетическим уровнем в верхней половине запрещенной зоны и коэффициент эмиссии электронов с глубоких центров намного больше коэффициента эмиссии дырок $e_n \gg e_p$ (см. рис. 1а).



а) Схематическое изображение p - n -перехода
 б) Временные диаграммы напряжения на p - n -переходе

Рис. 1. К методу определения параметров глубоких центров по статистической задержке микроплазменного пробоя.

Пусть p - n -переход находится при такой температуре, при которой уровень Ферми в n -базе выше глубокого уровня. Таким образом, все глубокие уровни со стороны n -базы до области пространственного заряда (ОПЗ) (до L_{n1}) будут заполнены электронами. Изменяя обратное напряжение на p - n -переходе можно изменять область, в которой на глубокие центры будут захвачены электроны (от L_{n1} до L_{n2}). Следовательно, можно точно указать место в p - n -переходе, где будет происходить эмиссия электронов с глубоких центров, что очень важно. Поскольку при исследовании вероятности включения микроплазмы при заполнении глубоких центров в микроплазменном канале необходимо точно знать местоположение области эмиссии носителей, участвующих в запуске лавины, так как коэффициент ударной ионизации зависит от электрического поля. На рисунке 1б приведена временная диаграмма напряжения на исследуемом диоде. Для создания области эмиссии электронов с глубоких центров на p - n -переход в обратном направлении подается прямоугольный импульс напряжения V_2 длительностью t_n , и измеряется статистическая задержка микроплазменного пробоя t_3 . Параметры импульсов выбираются из следующих

предпосылок. Интервал времени t_c определяется временем установления стационарного состояния в микроплазменном канале. Длительность ступеньки t_n должна быть гораздо меньше времени перераспределения заряда на ГЦ под действием электрического поля в области от $-L_p$ до L_{n1} . (рис. 1а), и в тоже время, чтобы ГЦ в области от L_{n1} до L_{n2} заполнились основными носителями заряда (электронами) со стороны n -базы. Реализовать такой режим измерений возможно, т.к. скорость захвата обычно гораздо больше скорости эмиссии носителей заряда с ГЦ. Регулировать степень заполнения глубоких центров можно с помощью ступеньки напряжения t_p . Напряжение V_B – напряжение пробоя первой микроплазмы. Напряжение V_3 – незначительно (на несколько процентов) превышает V_B . Напряжение V_1 – несколько ниже V_B (на 5–10 мВ). Напряжением V_2 – регулируется область заполнения ГЦ электронами.

Эмиссия носителей заряда с глубоких центров влияет на статистическую задержку пробоя и может при определенных условиях практически полностью ее определять, даже в тех случаях, когда концентрация ГЦ на много порядков величины меньше значения концентрации легирующих примесей [1]. Если же концентрация ГЦ в микроплазменных каналах сравнима с концентрацией легирующих примесей, то перезарядка ГЦ приводит к релаксационной задержке лавинного пробоя p – n -перехода [2].

Измерение статистической задержки микроплазменного пробоя включает 2 этапа [4].

Первый этап. Измерение вероятности включения микроплазмы без специального заполнения глубоких центров в микроплазменном канале (фоновый запуск лавины). Функция распределения задержки пробоя P_M в полулогарифмических координатах представлена на рисунке 2 (кривая 1).

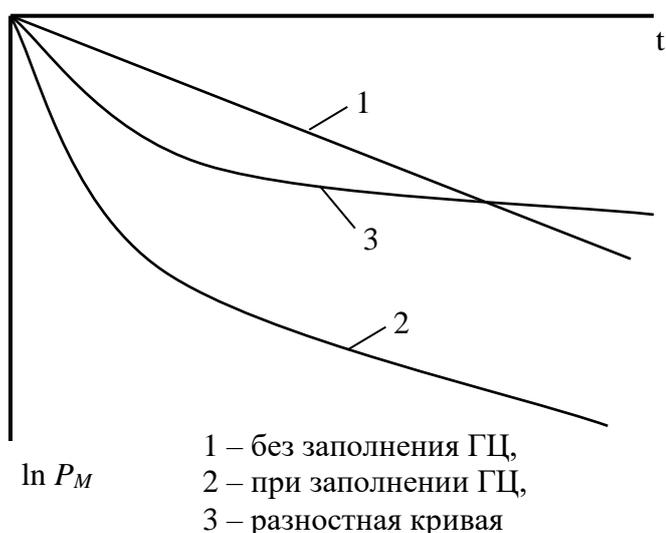


Рис. 2. Функции распределения статистической задержки пробоя по длительности.

Второй этап. Измерение вероятности включения микроплазмы при заполнении глубоких центров в микроплазменном канале. Кривая 2 (см. рис. 2) показывает типичную функцию распределения задержки пробоя при заполнении глубоких центров в полулогарифмических координатах.

Разностная кривая 3, полученная вычитанием кривой 1 из кривой 2, является функцией распределения статистической задержки пробоя микроплазмы, связанной с реэмиссией носителей заряда с глубоких центров. Она содержит всю основную информацию о влиянии глубоких центров на статистическую задержку пробоя p - n -перехода. Анализ функции распределения задержки пробоя микроплазмы по длительности позволяет определить параметры ГЦ: энергию активации, сечение захвата, концентрацию.

Структурная схема установки представлена на рисунке 3.

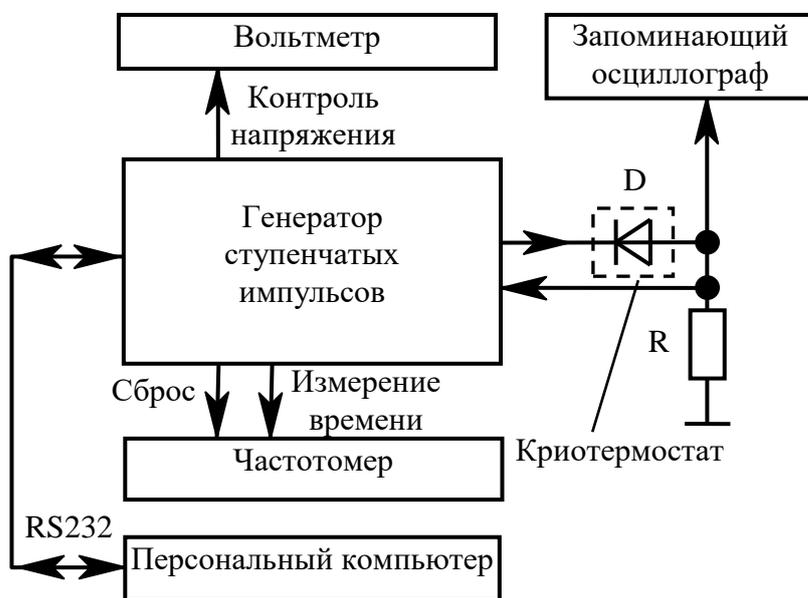


Рис. 3. Структурная схема установки для исследования задержки лавинного пробоя в диодах.

Установка автоматизирована на основе микроконтроллера AT90S2313 фирмы ATMEL [5], связывающего ее с персональным компьютером, посредством которого осуществляется управление установкой и обработка результатов измерений.

Генератор ступенчатых импульсов формирует импульсы формы, указанной на рисунке 1б. Он состоит из блока управления на основе микроконтроллера, блока формирования импульсов на полевых транзисторах IRFBE30 фирмы International Rectifier и микросхем-драйверов IR2125 той же фирмы, компаратора напряжения и блока питания. В структурной схеме установки (см. рис. 3) частотомер используется для контроля длительности импульсов t_c , t_n , t_p а также может быть использован для измерения времени

задержки микроплазменного пробоя t_3 , вольтметр – для контроля напряжений V_1, V_2, V_3, V_B , осциллограф – для контроля формы импульсов, подаваемых на исследуемый диод. Диапазон измеряемых задержек от 1 мкс до 7 мин при максимальном напряжении лавинного пробоя 350 В. Исследуемый образец размещается в светонепроницаемом криотермостате, позволяющем проводить измерения в диапазоне температур 77–400 К и поддерживать ее с точностью $\pm 0,1$ К. Внешний вид установки представлен на рисунке 4.

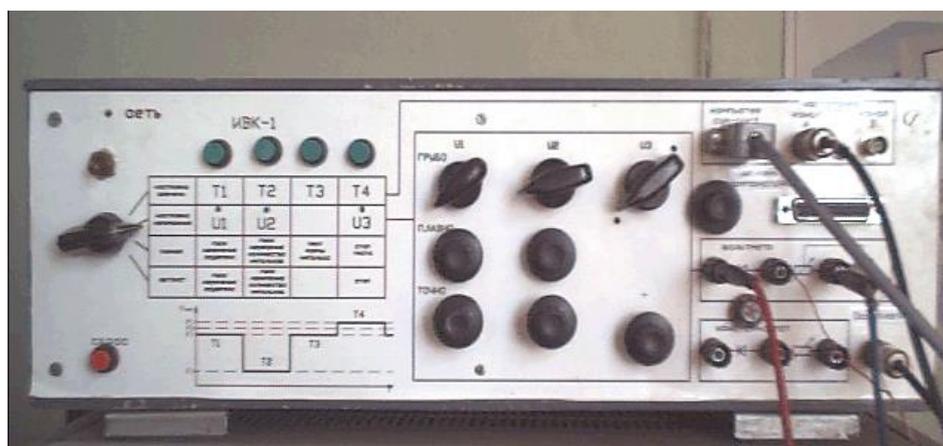


Рис. 4. Внешний вид установки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Булярский С. В., Сережкин Ю. Н., Ионычев В. К. Влияние ловушек на запуск лавины при пробое фосфидгаллиевых $p-n$ -переходов // Письма в ЖТФ. – 1999. – Т. 25. – Вып. 5. – С. 9–13.
2. Булярский С. В., Сережкин Ю. Н., Ионычев В. К. Определение параметров глубоких уровней по релаксационной задержке пробоя $p-n$ -перехода // ФТП. – 1999. – Т. 33. – Вып. 4. – С. 494–497.
3. Грехов И. В., Сережкин Ю. Н. Лавинный пробой $p-n$ -перехода в полупроводниках. – Л.: Энергия, 1980. – 152 с.
4. Ионычев В. К., Ребров А. Н. Исследование глубоких центров в микроплазменных каналах кремниевых лавинных эпитаксиальных диодов // ФТП. – 2009. – Т. 43. – Вып. 7. – С. 980–984.
5. Описание микроконтроллера AT90S2313 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.atmel.ru/Documents/Documents.htm>.