

**ЗИНКИН С.Д.**

**РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДА НЕСТАЦИОНАРНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ ГЛУБОКИХ  
УРОВНЕЙ В ПОЛУПРОВОДНИКАХ НА УСТАНОВКЕ DLS-83D**

**Аннотация.** В статье описывается метод нестационарной спектроскопии глубоких уровней. Представлены результаты измерений стандартным методом DLTS на кремниевых диодах легированных золотом, полученные с помощью установки DLS-83D.

**Ключевые слова:** DLTS, глубокий центр, донорный уровень, акцепторный уровень.

**ZINKIN S.D.**

**REALIZATION OF DEEP LEVEL TRANSIENT SPECTROSCOPY METHOD IN  
SEMICONDUCTORS ON DLS-83D MEASURING DEVICE**

**Abstract.** The article describes the deep level transient spectroscopy method. Particularly, it presents the measurement results obtained by the conventional DLTS method on gold doped silicon diodes by using of DLS-83D measuring device.

**Keywords:** DLTS, deep level trap, donor level, acceptor level.

На параметры и характеристики большинства полупроводниковых приборов влияют глубокие уровни (ГУ), находящиеся в запрещенной зоне полупроводника. Природа этих уровней различна. В основном это дефекты, как собственные точечные, так и протяженные (дислокации). Также глубокие уровни могут создавать различные примеси, например, ионы редкоземельных и переходных металлов. Внешние энергетические воздействия, такие как облучение электронами и другими высокоэнергетическими частицами могут создавать глубокие центры в полупроводниках. Эти центры могут играть как положительную, так и отрицательную роль в полупроводниковых приборах. Поэтому изучение этих центров играет ключевую роль в современной полупроводниковой технологии.

Среди всех методов исследования особо выделяется метод нестационарной спектроскопии ГУ (deep level transient spectroscopy – DLTS). Преимущество метода в его экспрессности. За один проход температурного сканирования можно изучить всю запрещенную зону полупроводника. Метод обладает некоторыми недостатками, которые устраняются с развитием вычислительной техники и развитием техники эксперимента.

Цель данной работы – апробация метода на образцах, в которые специально вводились примеси, создающие глубокие центры в запрещенной зоне. В нашем случае – это золото, которое создает донорный уровень с энергией  $E_v+0,34$  эВ и акцепторный – с энергией

$E_c - 0,54$  эВ. Выбор золота обусловлен тем, что уровни золота одни из самых изученных [1]. Измерения проводились на установке DLS-83D, с целью проверки её работоспособности.

Теория метода DLTS. Метод основан на работе [2]. Он заключается в следующем: устанавливается некая стационарная температура, на образец подаются два импульса, сначала обогащающий, затем обедняющий ОПЗ и определяется изменение барьерной емкости  $\Delta C$  за промежуток времени между  $t_1$  и  $t_2$  при обедняющем ОПЗ напряжении:

$$\Delta C = \Delta C_0 [\exp(-\frac{t_1}{\tau}) - \exp(-\frac{t_2}{\tau})], \quad (1)$$

где  $\tau^{-1} = e_n, e_p$  – скорость эмиссии электронов или дырок с ГУ.

Затем процесс продолжается при следующей температуре. Изменение емкости от температуры имеет вид кривой с максимумом из-за температурной зависимости постоянной процесса.

Величина скорости эмиссии в точке максимума, в случае эмиссии электронов с ГУ, определяется дифференцированием уравнения (1) по постоянной времени. Приравняв производную к нулю, получим, что

$$e_n = \frac{\ln(\frac{t_2}{t_1})}{(t_2 - t_1)}. \quad (2)$$

Изменяя промежутки времени, можно получить температурную зависимость скорости эмиссии (график Аррениуса)

$$\ln(\frac{e_n}{T^2}) = \ln(K\sigma_n) - \frac{E_c - E_t}{kT}, \quad (3)$$

из которой определяются глубина залегания ГУ ( $E_c - E_t$ ) и сечение захвата электронов  $\sigma_n$ . Для дырок все выполняется аналогично.

В установке DLS-83D для снижения уровня шумов используется модифицированный метод. Релаксация емкости умножается на весовую функцию, имеющую форму прямоугольного сигнала, период  $T$  которой задается рабочей частотой синхронного усилителя. Весовая функция синхронизирована последовательно с импульсом возбуждения. Первая половина сигнала умножается на 1, вторая – на  $-1$ . Выходной сигнал  $\Delta C$  пропорционален разности площадей первого и второго полупериода сигналов. Нормировав по периоду, получается средний уровень сигнала. Так как амплитуда переходного процесса постоянна в данном случае, то выходной сигнал зависит от отношения постоянной времени эмиссии и периода, то есть скорости эмиссии и частоты весовой функции синхронного усилителя.

Изменяя это соотношение, на результирующей кривой появляется пик, соответствующий глубокому центру. Положение пика, скорость эмиссии и частота связаны соотношением:

$$e_n = 2,17f , \quad (4)$$

где  $f$  – частота весовой функции синхронного усилителя, которую также можно назвать частотой окна сканирования.

Описание тестовых образцов. В качестве тестового образца использовался кремниевый импульсный диод КД521, в который специально вводят золото с высокой концентрацией.

Тестовый образец изготовлен следующим образом. Берется подложка электронного типа проводимости легированная сурьмой с удельным сопротивлением 0,01 Ом·см. Эпитаксиальная пленка выращивается газофазной эпитаксией кремния и легируется фосфором. Толщина пленки составляет  $17 \pm 2.5$  мкм. Удельное сопротивление – 1,1 Ом·см. Электронно-дырочный переход получен диффузией бора из конечного источника в окно диаметром 200 мкм. Влияние кривизны и поверхностный пробой устраняется созданием делительного кольца одновременно с формированием  $p^+$ - $n$ -перехода. Глубина залегания  $p$ - $n$ -перехода составляла  $7 \pm 2$  мкм. Поверхностное сопротивление диффузионного  $p^+$ -слоя имеет величину 50 Ом/□. Диффузия золота проводится из напыленной пленки при температуре 1000 °С в течение 50 минут [3].

Результаты измерений. Измерения в кремниевых импульсных диодах на установке DLS-83D проводились при следующих режимах:

$U_R$  – величина обедняющего ОПЗ импульса – 10 В

$U_1$  – величина заполняющего импульса – 0 В

Скорость нагрева образца  $\beta$  – 0,1 К/с

Температурный диапазон сканирования 80 – 400 К

Частота окна сканирования – 50, 250, 1500, 2500 Гц

Длительность заполняющего импульса – 10 мкс

На рисунке 1 приведены DLTS-спектры для диода КД521.

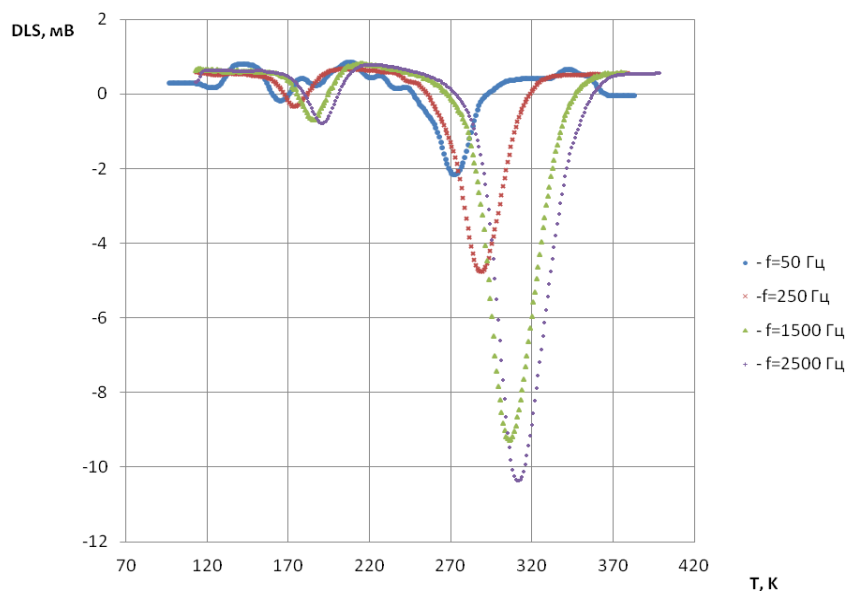


Рис. 1. DLTS-спектры диода КД521

Как видно из спектров наблюдаются два пика, соответствующие релаксации двух ГУ. Для определения положения температур максимумов экспериментальных DLTS-спектров проводилась их аппроксимация, с помощью программного обеспечения, поставляемого с измерительным оборудованием. Рассчитывалась скорость эмиссии. И по парам данных скорость эмиссии – температура максимума строились кривые Аррениуса (рис. 2).

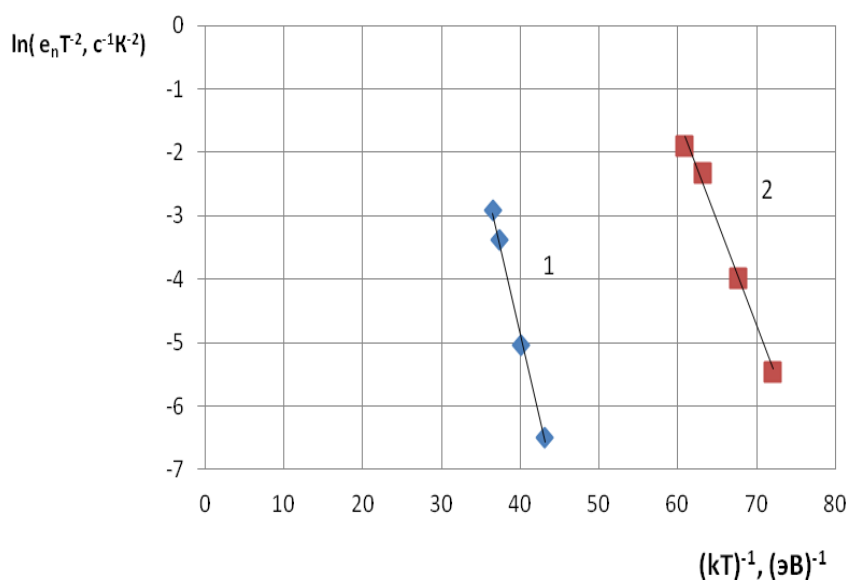


Рис. 2. Кривые Аррениуса: 1 – акцепторный уровень, 2 – донорный уровень

Аппроксимация графиков Аррениуса выражением (3) дала следующие значения энергий и сечений захвата уровней:

1:  $E_c - 0,54$  эВ,  $\sigma_n = 6,4 \cdot 10^{-14}$  см<sup>2</sup>,

2:  $E_v + 0,33$  эВ,  $\sigma_p = 1,2 \cdot 10^{-14}$  см<sup>2</sup>.

Идентификация глубоких уровней [4] даёт хорошее соответствие полученных параметров с параметрами акцепторного и донорного уровней золота в кремнии.

В результате проведенной работы, можно сделать вывод о пригодности установки DLS-83D для исследований спектров и основных параметров ГУ в полупроводниковых структурах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Булярский С.В., Грушко Н.В. Генерационно-рекомбинационные процессы в активных элементах. – М.: Изд-во Моск. ун-та – 1995. – 391 с.

2. Lang D.V. Deep level transient spectroscopy: A new method to characterize traps in semiconductors // J. Appl. Phys. – vol. 45. – 1974.

3. Булярский С.В., Сerezкин Ю.Н., Ионычев В.К. Определение параметров глубоких уровней по релаксационной задержке пробоя р-п-перехода // Физика и техника полупроводников. – .33. – вып. 4. – 1999.

4. Defect DLTS Signal Standard Database – [ Электронный ресурс ] . – Режим доступа: <http://www.laplacedlts.eu/defect/>