МЕТОД DLTS В АНАЛОГО-ЦИФРОВОМ РЕЖИМЕ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ СТРУКТУР

И.Н.Каримов, М.З.Носиров, М.Эргашева, М.Абдувалиев, Л.Мадумарова

Ишда кучланишнинг вақтли диаграммаси ва қурилманинг аналог-рақамли режимда ишлаш принципи, шунингдек, кўп қатламли структуралар параметрларини аналог-рақамли режимда ўлчаш усули келтирилган ва таҳлил қилинган.

Калит сўзлар: *вақтли диаграмма, аналог-рақамли режим, сиғимли спектроскопия, сиғим релаксацияси, фазавий деформатор.*

В работе приведена и описана временная диаграмма напряжения и работы установки в аналого-цифровом режиме, а также показаны режимы аналого-цифрового способа измерения параметров многослойных структур.

Ключевые слова: *временная диаграмма, аналого-цифровой режим, емкостная спектроскопия, релаксация емкости, фазовый деформатор.*

The work described in detail and gives the timing diagram of the voltage and the work of mounting in analog-to-digital mode, and also modes of analog-to-digital means of measurement of parameters of multilayer structures are shown.

Key words: *timing diagram, analog-to-digital mode, the capacitive spectroscopy, relaxation capacity, phase deformer.*

В предыдущей статье [1] нами был описан метод DLTS в цифровом режиме. При измерении в цифровом режиме исключается погрешность, обусловленная нестабильностью тракта и температуры генератора частоты. Недостатком цифрового режима является невозможность измерения т меньше 0.2-0.3 s.

Инерционность измерений в этом режиме затрудняет исследование глубоких центров меньшей энергией ионизации ($\Delta E<0.10\div0.15$ eV). Все эти недостатки устраняются с помощью аналого-цифрового режима измерений.

Предложенный режим измерений установки емкостной спектроскопии с ААЦМ основан на чередовании автоподстройки по средним значениям C(T,t) и измерениям исследованных зависимостей C(T, t) на выходе фазового детектора (ФД) ААЦМ с помощью АЦП (Ф7044 или Ф7077). Процесс измерений по этому принципу поясняется с помощью упрощенных диаграмм, представленных на рис 1.

На измеряемую структуру подается постоянное обратное смещение $V_=$.

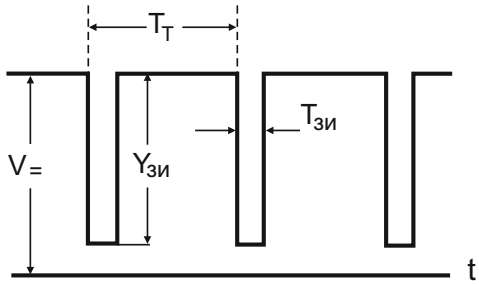

Рис.1. *Временная диаграмма напряжения, подаваемого на структуру, V-обратное смещение на структуру; $V_{зи}$ – напряжение заполняющих импульсов; $T_т$ – период следования ЗИ; $T_{зи}$- длительность ЗИ.*

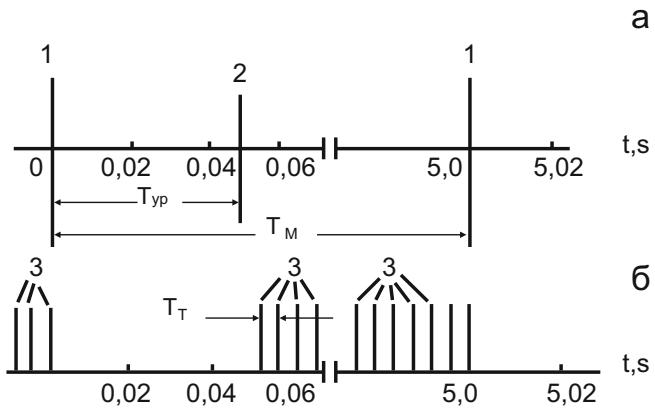

Рис.2. *Временная диаграмма работы установки в аналого-цифровом режиме. а) работа АЦМ; б) подача–смещения на структуру. $T_{ур}$ - время уравновешивания АЦМ; $T_м$ - период следования импульсов запуска АЦМ на измерение балансировки моста.*

Заполняющие импульсы (ЗИ) встречной полярности с амплитудой $V_{зи}$ и длительностью $T_{зи}$ периодом $T_т<<T_{ур}$, где $T_{ур}$ время уравновешивания моста ААЦМ. Импульсы, запускающие мост МЦЕ с периодом $T_м>>T_{ур}$, блокируют подачу заполняющих импульсов на образец за время $T_{ур}$ уравновешивания МЦМ при некотором значении емкости C(t), промежуточным между ее начальным и стационарным значениями. После окончания уравновешивания моста МЦЕ возобновляется подача заполняющих импульсов на измеряемую структуру.

Релаксация емкости $\Delta C(t)$ измеряется на выходе фазового детектора МЦМ при помощи АЦП и вводится в микро ЭВМ. Все переходные процессы $\Delta C(t)$ хранятся в памяти –ЭВМ до конца измерений и могут быть в случае необходимости обработаны по окончании эксперимента согласно выбранной физической модели, объясняющей характер полученного спектра нестационарной емкостной спектроскопии глубоких уровней НЕСГУ. Амплитуда сигнала фазового детектора программно может быть умножена или увеличена в зависимости от концентрации глубоких центров и поверхностных состояний.

Измерения повторяются d раз до следующего запуска моста. Такой способ измерения позволяет уменьшить измеряемое время термоэмиссии глубоких дискретных уровней на 2 – 3 порядка, т.е. до со-

тен микросекунд, что в свою очередь, позволяет при заданной минимальной температуре исследовать глубокие центры с меньшей энергией ионизации и при заданном времени измерений увеличить число повторений измерений в данном режиме, т.е. улучшить отношения сигнал/шум. Режимы аналого-цифрового способа измерения представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Эквивалент	0	8	9	10	11	12	13	14	15
T_m, ms (запуск генератора)	стоп	10	10	20	20	40	40	80	80
$T_{МЦЕ}$, ms (запуск МЦЕ в цикле)	стоп	0,2	0,4	0,4	0,8	0,8	1,6	1,6	3,2
n≤ (число точек в цикле)	-	49	24	49	24	49	24	49	24

C(T,t) и *tgd(T)* измеряются МЦЕ в цифровом режиме в процессе балансировки.

При работе в режимах, указанных в таблице 1, измерения выполняются следующим образом (рис. 2):

1. Запуск МЦЕ в одном из режимов группы таблицы 1 работе при максимальной чувствительности; далее — пауза, достаточная для уравновешивания АЦМ ($T_{ур}$).

2. Переход к одному из режимов группы таблицы 1, выбор чувствительности и, далее, переход к измерению $\Delta C(t)$ по напряжению фазового деформатора ФД-$V_{ФД}$. В микро-ЭВМ вводится m значений $V_{ФД}(t)$, d-циклов одинаковой чувствительностью.

3. Происходит пересчет зависимости $V_{ФД}(t_1)$ в зависимость $\Delta C(t)$, используя известное значение коэффициента передачи усилительного тракта МЦЕ.

4. Измерение термо-Э.Д.С и вычисление температуры по градуировке термопары. Идет суммирование и усреднение значений $\Delta C(t_i)$ по d циклам, далее записывание $\Delta C(t_i)$ в n ячеек памяти.

5. Обработка зависимостей $\Delta C(t)$ по одной из программ.

Таким образом, разработаны и составлены программы автоматизированного измерения ВФХ, DLTS и *C(t)* МДП структур, а также обработки результатов.

Анализ емкостных методов и приборов на их основе показал, что эти методы являются оптимальным способом исследования электрофизических свойств МДП структур. Значительным преимуществом емкостных методов является возможность их использования без повреждения исследуемой полупроводниковой структуры.

Литература:

1. Каримов И. и др. Экспериментальные методы исследования многослойных структурметалл-диэлектрик-полупроводник // Илмий хабарнома - Научный вестник.- АндГУ.- 2018 г.- №1.- С.13-15

2. 3. Л.С.Берман, А.А.Лебедев // Емкостная спектроскопия глубоких центров в полупроводниках.- Л.: Наука, 1981

3. А.В.Васильев, С.А.Смагулова, С.С.Шаймеев К вопросу о методике обработки спектров DLTS // ФТП, 17(1), 162(1983)

4. М.Т.Толстобров // Дисс. на соискание уч.степени к.ф-м.н,- Л., 1988.

5. Каримов И.Н. // Дисс. на соискание уч.степени д.ф-м.н,- Т., 1995.

Андижон давлат университети,
2017 йил 1 декабрда қабул қилинган
(Тақризчи: проф. Р.Алиев)