

индекс 3624

ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱՅԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ
ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЕФИ-447(54)-80

Г.Н.ЕРИЦЯН, А.С.ОГАНЕСЯН, А.А.СААКЯН

УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПОЛНОЙ
ПРОВОДИМОСТИ МДП-СТРУКТУР

ԵՐԵՎԱՆ 1980 ԵՐԵՎԱՆ

EM-447(54)-80

G.N.ERITSIAN, A.S.OGANESIAN, A.A.SAHAKIAN

DEVICE FOR MEASURING THE TOTAL CONDUCTIVITY
OF MDS STRUCTURES

A device is designed and manufactured for measuring the MDS structure parameters in the frequency range from 200 Hz to 2 MHz with 30 mV measuring voltage amplitude. The whole frequency range is subdivided into three subranges with the following parameters: from 200 Hz to 5 kHz with the active conductivity measuring limit $G = 10^{-9} + 10^{-6}$ sim, from 5 kHz to 100 kHz with $G = 10^{-8} + 10^{-5}$ sim, from 100 kHz to 2 MHz with $G = 10^{-7} + 10^{-4}$ sim with +7% accuracy. The capacity was measured with ± 0.2 pf accuracy, and its maximum value was 200 pf. The device design allows to control the constant biasing voltage V directly during the measurements. The results of the measurements taken with the help of the developed device on Si - SiO₂ structure at room temperature are reported.

Yerevan Physics Institute

Yerevan 1980

ЕФИ-447(54)-80

Г.Н.ЕРИЦЯН, А.С.ОГАНЕСЯН, А.А.СААКЯН

УСТАНОВКА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПОЛНОЙ ПРОВОДИМОСТИ
МДП-СТРУКТУР

Ереван 1980

В настоящее время с целью получения более детальной и точной информации о параметрах поверхности раздела диэлектрик-полупроводник применяется метод измерения полной проводимости МДП-структур [1].

Существует несколько методов измерения полной проводимости. В работе [2] описан мост, который, на наш взгляд, имеет ряд недостатков: сложная конструкция, измеряемый объект подключается к незаземленному плечу моста, что осложняет подачу и точный контроль постоянного смещающего напряжения; использован нестандартный усилитель. Аппаратура, предложенная в работе [3], также сложная по конструкции; затруднены измерения постоянного смещающего напряжения и оно ограничено напряжением пробоя входного транзистора.

В данной работе предлагается сравнительно простая схема моста (рис.1), где отсутствуют вышеуказанные недостатки. Эта схема состоит из измерительного моста, аппаратуры для измерения сигнала разбаланса моста, для подачи и контроля постоянного смещающего и переменного измерительного напряжений (ИН).

Мост состоит из измерительного трансформатора (ИТ), измерительного плеча (ИП) и компенсирующего плеча (КП). ИП состоит

из полупеременной ёмкости C_0 и калибровочных сопротивлений R_k . ИП состоит из измерительной переменной ёмкости C и цепочек r и C . При подаче ИН на ИТ (в точку А) величина сигнала на входе усилителя У2-6 будет пропорциональна разбалансу плеча моста, так как направления токов в обмотках ИТ противоположны. Как видно из рис. 1, полная проводимость ИП без измерительного образца равна

$$Y_u = G_u + j\omega C_u, \quad (1)$$

где G_u — паразитная активная проводимость ИП, C_u — сумма начальной величины ёмкости C_0 и паразитных ёмкостей соединительных проводников ИП, $\omega = 2\pi f$ — круговая частота ИН.

Полная проводимость ИП равна

$$Y_k = G_k + j\omega C_k + (r + 1/j\omega c)^{-1}, \quad (2)$$

где G_k — паразитная активная проводимость ИП, C_k — сумма начальных величин C , C и паразитных ёмкостей соединительных проводников ИП, r и C — элементы для компенсации сигнала разбаланса. Индуктивностями ИП и ИП пренебрегаем.

Если предположить, что $G_u > G_k$ и $C_u > C_k$, то из условий баланса моста получаются следующие выражения:

$$G_u = G_k + \frac{\omega^2 c_1^2 r}{1 + \omega^2 c_1^2 r^2} \quad (3)$$

$$C_u = C_k + \frac{C_1}{1 + \omega^2 c_1^2 r^2}, \quad (4)$$

где C_1 соответствует величине C при балансе моста.

Если подключить к ИП измеряемый объект с неизвестными значениями G_x и C_x , то аналогично можно написать следующие уравнения:

$$G_x + G_u = G_k + \frac{\omega^2 c_2^2 r}{1 + \omega^2 c_2^2 r^2} \quad (5)$$

$$C_x + C_u = C_k + \Delta C + \frac{C_2}{1 + \omega^2 c_2^2 r^2}, \quad (6)$$

где C_2 соответствует величине C при балансе моста с подключенным к ИП измеряемым объектом, ΔC соответствует разности величин измерительной переменной ёмкости C при балансах моста до и после подключений к ИП измерительного объекта.

Решая системы уравнений (3 - 6) получим:

$$G_x = \frac{(c_2^2 - c_1^2) \omega^2 r}{(1 + \omega^2 c_1^2 r^2)(1 + \omega^2 c_2^2 r^2)} \quad (7)$$

$$C_x = \Delta C + \frac{(c_2 - c_1)(1 + \omega^2 c_1 c_2 r^2)}{(1 + \omega^2 c_1^2 r^2)(1 + \omega^2 c_2^2 r^2)} \quad (8)$$

Уравнения (7) и (8) являются основными формулами для расчета полной проводимости.

Предлагаемая установка работает следующим образом. На вход селективного усилителя типа У2-6 подается сигнал разбаланса моста, который после усиления подается на входы фазочувствительных преобразователей напряжения типа В9-2. Первый из них по фазе настроен на активную, а второй — на реактивную составляющие сигнала разбаланса. Баланс моста контролируется по нуле-

вым показаниям обоих преобразователей напряжения В9-2. Опорные напряжения для них берутся от генератора ИН. Амплитуда и частота ИН контролируются милливольтметром типа ВЗ-39, частотомером типа ЧЗ-35. В исходном состоянии подбором величин r , C и C_0 мост балансируется, далее, подключив измерительный объект к ИП, изменением C и C_0 мост заново балансируется и, подставляя соответствующие значения ΔC , C и r в (7) и (8), определяются G_x и C_x .

Как видно из рис.1, конструкция моста позволяет контролировать смещающее постоянное напряжение непосредственно во время измерения, без внесения каких-либо шунтирующих действий вольтметра на измеряемый объект. Кроме того, один вывод измеряемого объекта заземлен. Это играет немаловажную роль, в особенности, при низкотемпературных измерениях.

Описанная нами установка может работать и в режиме частичного баланса, т.е. балансируется только реактивная составляющая сигнала разбаланса. Тогда без расчета, экспериментальным путем, можно измерить C_x по показанию измерительной калиброванной ёмкости C , а величину G_x — определить по показанию преобразователя напряжения В9-2, настроенного по фазе на активную составляющую сигнала разбаланса, заранее калиброванного по известной проводимости. В этом случае измерения осуществляются следующим образом. В исходном состоянии подбором величин C_0 , C и r балансируется и калибруется мост по известной проводимости R_k . Затем, подключив измеряемый объект к ИП, балансируется C_x с помощью C , а G_x определяется по величине показаний В9-2.

Однако необходимо отметить, что в этом случае величина показания активной составляющей проводимости находится в прямой

зависимости от амплитуды ИН на измеряемом объекте. Следовательно, для обеспечения высокой точности измерения по активной проводимости, необходимо, чтобы максимальные значения G_x и C_x были такой величины, при которых падения ИН на измерительных обмотках ИТ были незначительными.

По схеме, представленной на рис.1, при работе в режиме частичного баланса можно измерять полную проводимость в интервале частот от 200 Гц до 2 МГц при амплитуде ИН 30 мВ. Весь диапазон частот разбит на три поддиапазона со следующими параметрами: частота измерения от 200 Гц до 5 кГц с пределом измерения по активной проводимости $G = 10^{-9} + 10^{-6}$ сим, от 5 кГц до 100 кГц $G = 10^{-8} + 10^{-5}$ сим; от 100 кГц до 2 МГц $G = 10^{-7} + 10^{-4}$ сим. Для проверки точности измерения по G были использованы контрольные сопротивления, предварительно измеренные на измерителе импеданса типа ВМ-507. Точность измерения предлагаемой нами установки была не хуже, чем у прибора ВМ-507 и составляла $\pm 7\%$. По ёмкости точность измерения была проверена с помощью моста типа ВМ-400 Г и составляла $\pm 0,2$ пф по всему интервалу частот, а её максимальное значение — 200 пф. Каждому поддиапазону частот подобран отдельный ИТ. Для проведения измерений от 30 кГц до 100 кГц первый поддиапазон В9-2 был переделан. Выше 100 кГц, где невозможно применять усилитель У2-6, был использован милливольтметр типа ВЗ-39 с однокаскадным резонансным предусилителем на входе, а вместо В9-2 были использованы его аналогичные повторения на высокочастотных транзисторах с соответствующими частотнозависящими цепями.

Если измерения проводить на одной или на нескольких фиксированных частотах, то схема установки упрощается и её можно

автоматизировать и наблюдать кривые $G_x(V)$ и $C_x(V)$ на осциллографе. Это дает возможность использовать данный мост на производстве с целью экспрессной оценки параметров МДП-структур, где нет необходимости снятия всего частотного спектра полной проводимости.

Описанную установку можно применять также и для измерения других физических величин, например, фотопроводимости на высокоомных полупроводниковых образцах. На рис.2 представлены результаты измерения полной проводимости, выполненных с помощью разработанной установки на структуре $Si-SiO_2$ при комнатной температуре.

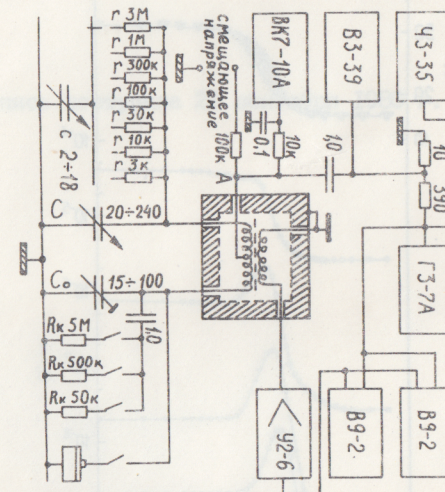


Рис.1 Схема установки для измерения полной проводимости МДП-структур.

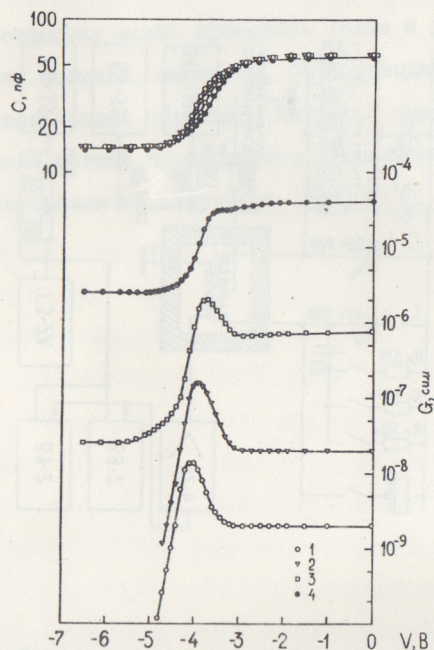


Рис.2 Зависимость полной проводимости структуры $Si-SiO_2$ от напряжения на полевом электроде на разных частотах при комнатной температуре: 1 - 1 кГц, 2 - 10 кГц, 3-100кГц, 4 - 1 МГц, диаметр полевого электрода $D = 0,53$ мм, толщина окиси $d = 1200 \text{ \AA}$, сухое окисление, подложка $n-Si$, $n_d = 3,4 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$ [100].

ЛИТЕРАТУРА

1. E.H.Nicollian, A.Goetzberger, Bell Syst.Tech.J, 46, 1055, 1967
2. Нахмансон Р.С., Ероков В.Г. ПТЭ, 3, 147, 1973.
3. Белотелов С.В., Сурис Р.А., Федоров В.Н. ПТЭ, I, 216, 1978.

Рукопись поступила 22 сентября 1980 г.