

Легко заметить, что в случае колебаний большой интенсивности сигнал об окончании импульса может быть подан слишком рано, но это возможно сравнительно редко. Схемы подобного рода можно выполнить на транзисторах, хотя это и приведет к некоторым осложнениям, в частности, к применению счетных декад.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. Дорниг. Об измерении ускорений, возникающих при ударе.— Механика, 1959, № 4(56).
2. М. И. Субботин. Прибор для измерения ударных ускорений.— Передовой научно-технический и производственный опыт. М., ЦИТЭИИ, 1962, № П-62-18/4.

Поступило в редакцию
18 августа 1965 г.

УДК 621.315.592+538.54

В. С. СОБОЛЕВ, Ю. Д. ШМУРАТКО
(Новосибирск)

УСТАНОВКА ДЛЯ БЕСКОНТАКТНОГО ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ*

Современная техника полупроводников остро нуждается в бесконтактных и производительных методах измерения электропроводности материалов. Применяемые для этих целей зондовые методы трудоемки и громоздки. Кроме того, для ряда перспективных материалов, например, для арсенида галлия, они вообще не применимы из-за больших контактных сопротивлений зонд-образца.

Нами разработана установка, при использовании которой не требуется электрического контакта с поверхностью измеряемого полупроводника, так как измерение осуществляется методом вихревых токов [1]. Установка предназначена для измерения электропроводности образцов, имеющих хотя бы одну плоскую поверхность. Основной ее частью [2] является датчик, представляющий собой короткозамкнутую коаксиальную линию 1 со щелью 3, прорезанной в наружной стенке линии и короткозамыкающей шайбе 2 (рис. 1). В щель вводится резонансный контур, образованный специальным витком 4 и емкостью С. Датчик питается от генератора качающейся частоты. Как видно из рис. 1, контур оказывается индуктивно связанным с обеими короткозамкнутыми линиями. Таким образом, при воздействии на вход датчика частотно-модулированного сигнала напряжение на его выходе будет модулировано по амплитуде. Огибающая выходного напряжения повторяет форму резонансной кривой контура. Детектируя выходное напряжение и подавая полученный сигнал на вертикальные пластины

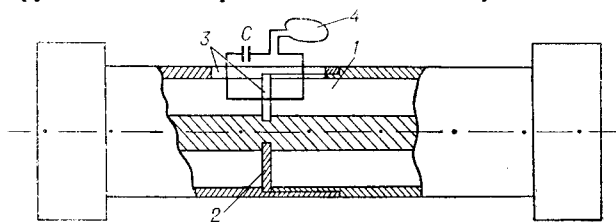


Рис. 1.

осциллографа, на экране последнего можно наблюдать резонансную кривую контура. Развертка осциллографа синхронизирована с частотой модуляции генератора, питающего датчик. Если генератор качающейся частоты снабжен кварцевым калибратором частоты, то по наблюдаемой резонансной кривой можно легко определить резонансную частоту и добротность контура. Если в поле витка внести полупроводниковый образец то за счет наводимых в последнем вихревых токов в резонансный контур вносится некоторое сопротивление. Величина внесенного сопротивления легко определяется по наблюдаемому изменению резонансной частоты и добротности контура.

* Материал доложен на VII Всесоюзной конференции по автоматическому контролю и методам электрических измерений в сентябре 1965 г. в Новосибирске.

В работе [3] для витка, расположенного над проводящим полупространством, приводятся точные выражения активной ($R_{\text{вн}}$) и реактивной ($X_{\text{вн}}$) составляющих сопротивления, вносимого образцом:

$$R_{\text{вн}} = \sqrt{2} \pi \omega \mu_0 \alpha \beta \int_0^{\infty} J_1^2(\beta y) e^{-\alpha \beta y} y^2 \left(\sqrt{\sqrt{1 + \frac{1}{y^4}} + 1} - \sqrt{2} \right) dy; \quad (1)$$

$$X_{\text{вн}} = \sqrt{2} \pi \omega \mu_0 \alpha \beta \int_0^{\infty} J_1^2(\beta y) e^{-\alpha \beta y} \left(\frac{1}{\sqrt{2}} - y^2 \sqrt{\sqrt{1 + \frac{1}{y^4}} - 1} \right) dy. \quad (2)$$

Здесь ω — круговая частота;
 $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-9}$ гн/м;

$\alpha = \frac{2h}{a}$ — обобщенный параметр;

h — высота витка над проводящим полупространством;
 a — радиус витка;

$\beta = a \sqrt{\omega \sigma \mu_0}$ — обобщенный параметр;

σ — электропроводность полупространства;

J_1 — функция Бесселя первого рода первого порядка.

Значения приведенных интегралов вычислены для $\beta = 0,8 \div 100$ [3]. На рис. 2 показано изменение полного сопротивления витка в зависимости от обобщенного параметра β при $\alpha = 0,3$. По осям отложены относительные сопротивления $\frac{R_{\text{вн}}}{\omega L_0}$ и $\frac{\omega L}{\omega L_0}$, где L — полная индуктивность витка, равная $L_0 - L_{\text{вн}}$. Собственная индуктивность витка L_0 определялась по резонансной частоте и емкости контура. Кривая рис. 2 рассчитана по формулам (1) и (2). Ясно, что при воздействии проводящего образца на контур изменяется резонансная частота и добротность последнего, и обе эти величины несут информацию об электропроводности образца. На рис. 3 приведена построенная по данным работы [3] кривая зависимости резонансной частоты контура от проводимости образца.

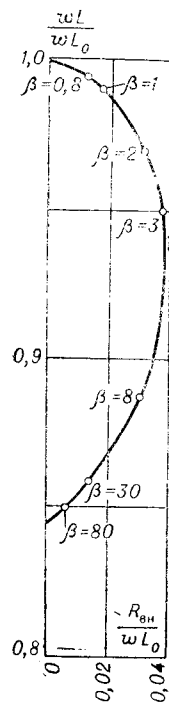


Рис. 2.

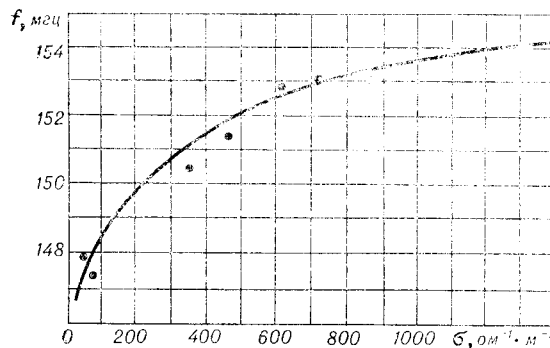


Рис. 3.

Эту кривую можно использовать в качестве градуировочной при измерениях электропроводности полупроводниковых образцов на частоте около 150 Мгц при $\alpha = 0,3$, и, таким образом, градуировку установки можно проводить расчетным путем.

Методика проведения измерений чрезвычайно проста и заключается в следующем. Образец помещается на измерительный столик установки. Изменение резонансной частоты контура отсчитывается по кварцованным меткам на экране осциллографа. Затем по калибровочной кривой и полученному значению новой резонансной частоты определяется электропроводность. В описываемой установке использовался генератор качающейся частоты TR-0805 фирмы «Орион» с частотным диапазоном 10—240 Мгц. Погрешность отсчета частоты не хуже 10^{-3} . Общая ошибка при измерениях электропроводности определяется следующими факторами: погрешностью отсчета резонансной частоты контура, погрешностью

построения калибровочной кривой и положением рабочей точки на ней, неточностью установки зазора между витком и образцом, а также наличием емкостной связи между образцом и контуром. В нашем случае (рабочая частота 150 МГц) погрешность измерений электропроводности, обусловленная отсчетом, составляет около 7%.

На рис. 3 нанесены экспериментальные точки, полученные при измерениях образ-

1. Г. Г. Я р м о л ь ч у к. Бесконтактный метод определения удельного электрического сопротивления.— Автоматика и телемеханика, 1958, № 3.
2. Ю. Д. Ш м у р а т к о. Бесконтактный измеритель характеристик плоских контуров. Авторское свидетельство № 170088.— Бюллетень изобретений, 1965, № 8.
3. В. С. С о б о л е в. К теории метода накладной катушки.— Изв. Сиб. отд. АН СССР, серия техн. наук, 1963, вып. 1, № 2.

Поступило в редакцию
10 октября 1965 г.

УДК 517.392

А. И. ШЕЛОМАНОВ
(Новосибирск)

К ВОПРОСУ О ПРЕДСТАВЛЕНИИ ИНТЕГРАЛА ВЕРОЯТНОСТИ В ВИДЕ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ФУНКЦИЙ

При решении различных прикладных задач нам часто приходится иметь дело с интегралом вероятности

$$\Phi(t) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^t e^{-\tau^2} d\tau.$$

Такие задачи встречаются в теории вероятностей, теории измерений, теории теплопроводности и т. д. Непосредственное вычисление интеграла вероятности не вызывает труда, поскольку он протабулирован. Известно также приближенное представление этого интеграла

$$\Phi(t) \cong \frac{2}{\sqrt{\pi}} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n t^{2n+1}}{n! (2n+1)}. \quad (1)$$

Однако пользование выражением (1) связано с известными неудобствами, особенно в тех случаях, когда интеграл вероятности является составной частью исследуемой функции.

Предлагается приближенное представление интеграла вероятности в виде элементарных функций

$$\Phi(t) \cong \frac{H(t)}{\sqrt{\pi}} \left(1 - e^{-\frac{2t}{H(t)}} \right), \quad (2)$$

где

$$H(t) = 0,5 \sqrt{\pi} + \frac{1,5}{t} + \sqrt{\left(0,5 \sqrt{\pi} + \frac{1,5}{t}\right)^2 - \frac{5,04}{t}}.$$

Погрешность, которая получается при использовании выражения (2), не превышает 1% на всей положительной оси аргумента t .

Поступило в редакцию
14 октября 1965 г.