

СВЧ МОДУЛЬ ДЛЯ БЕСКОНТАКТНОГО ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Владимиров В. М., Коннов В. Г., Марков В. В., Мартыновский В. Н., Репин Н. С., Шепов В. Н.
Красноярский научный центр СО РАН
Красноярск, 660036, Россия
тел.: (391) 2905494, e-mail: vlad@ksc.krasn.ru

Аннотация — Разработан управляемый СВЧ модуль для бесконтактного измерения параметров полупроводников. Приведены результаты его применения для измерения времени жизни неосновных носителей заряда в монокристаллическом кремнии.

I. Введение

Как известно, бесконтактный СВЧ метод является неразрушающим и применяется для контроля параметров полупроводников. В частности, данный метод применяется для измерения удельного сопротивления и времени жизни неосновных носителей заряда (ВЖ ННЗ) в полупроводниках [1-3].

Развитие современных технологий получения кремния потребовало разработки универсального измерителя, позволяющего измерять ВЖ ННЗ в пластинах и слитках мульти-, поли- и монокристаллического кремния бесконтактным СВЧ методом. Кроме того, возникла необходимость в автоматизации бесконтактного СВЧ метода и применении современной элементной базы, позволяющей значительно уменьшить размеры измерительных приборов.

Целью настоящей работы является разработка управляемого СВЧ модуля для автоматизированного бесконтактного измерителя ВЖ ННЗ в кремнии.

II. Принцип работы СВЧ модуля

На рис. 1 приведена структурная схема разработанного измерителя, штриховой линией показан состав СВЧ модуля, построенного по принципу цифровой фазовой автоподстройки частоты (ЦФАПЧ) генератора, управляемого напряжением (ГУН).

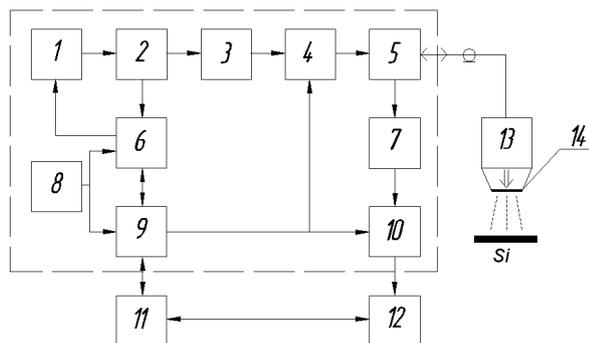


Рис. 1. Блок - схема измерителя.

Fig. 1. Block diagram of device

СВЧ модуль работает следующим образом. Команда управляющей программы с персонального компьютера (11) через USB порт поступает на программируемую логическую интегральную схему (ПЛИС) (9). ПЛИС управляет работой схемы синхронизации кольца ЦФАПЧ, цифрового аттенуатора (4) и операционного усилителя (10).

ГУН (1) формирует СВЧ сигнал (F_c) в диапазоне частот от 4800 до 5300 МГц. С ГУНа СВЧ сигнал поступает на делитель мощности (2), с которого часть сигнала поступает на двухкаскадный усилитель СВЧ

(3), а часть на цифровой синтезатор частоты (6). На другой вход синтезатора поступает сигнал с частотой 100 МГц с опорного генератора (8) (F_{op}).

Частота сравнения F_c/N и F_{op}/n составляет 100 кГц. Деление частот осуществляется встроенными делителями частоты. Причем N – переменный (управляемый) коэффициент деления, а n – постоянный.

На выходе частотно-фазового детектора, входящего в состав синтезатора частоты, формируется сигнал управления, зависящий от разности фаз сравниваемых сигналов F_c/N и F_{op}/n . Напряжение с выхода частотно-фазового детектора поступает через усилитель постоянного тока и фильтр нижних частот на вход управления ГУНа и стабилизирует заданную частоту.

С выхода усилителя (3) СВЧ сигнал поступает на управляемый аттенуатор (4), и, далее, через циркулятор (5) на СВЧ резонатор (14), нагруженный на измеряемый образец полупроводника.

СВЧ резонатор, обеспечивающий связь СВЧ генератора с измеряемым образцом полупроводника, выполнен в виде цилиндрического диэлектрического резонатора (ДР) и работает в режиме «на отражение». Резонатор закреплен в отдельном корпусе и имеет сквозное отверстие. Сквозь отверстие проходит излучение лазерного диода (13), который закреплен с другой стороны СВЧ резонатора.

Отраженный от полупроводника СВЧ сигнал через циркулятор (5) поступает на детектор (7). Далее продетектированный сигнал усиливается усилителем с управляемым коэффициентом усиления (10). С помощью последовательного кода, поступающего с ПЛИС, коэффициент усиления может изменяться от 1 до 20, что обеспечивает усиление информационно сигнала до уровня, необходимого для работы аналого-цифрового преобразователя (АЦП) (12). Максимальная частота дискретизации АЦП 100 МГц, объем буфера памяти 1024 кСлов.

III. Применение СВЧ модуля

На верхней части рис. 2 приведена частотная зависимость коэффициента отражения СВЧ мощности от ДР, нагруженного на пластину монокристаллического кремния с удельным сопротивлением 2500 Ом·см. На нижней части рисунка приведена временная зависимость фотопроводимости для данной пластины, измеренная при воздействии на нее импульса лазерного излучения с длиной волны 1.06 мкм, мощностью 30 мВт и длительностью 1000 мкс.

На рис.3 приведены результаты измерений эффективного и расчета объемного ВЖ ННЗ для данной пластины. Измерения выполнены по спаду фотопроводимости бесконтактным СВЧ методом и аппроксимированы согласно международным стандартам SEMI MF1535 и MF28 (b) (два верхних графика) и по всей кривой спада (нижний график). В случае, если вся кривая спада фотопроводимости аппроксимируется одной экспонентой, значения ВЖ ННЗ, определенные по трем стандартам, совпадают.

MICROWAVE MODULE FOR NONCONTACT MEASUREMENT OF SEMICONDUCTORS

Vladimirov V. M., Konnov V. G., Markov V. V.,
Martynovskiy V. N., Repin N. S., Shepov V. N.
Krasnoyarsk Science Centre SB RAS
Krasnoyarsk, 660036, Russia
tel: (391) 2905494, e-mail: vlad@ksc.krasn.ru

Abstract — Controlled microwave module for sensing of semiconductors is developed. The results of its application for measurement of minority-carrier lifetime in silicon are presented.

I. Introduction

Noncontact microwave method is a nondestructive method and it is used for measurement of minority-carrier lifetime in semiconductors [1-3].

The purpose of the present work is to develop controlled microwave module for automated measurement of minority-carrier lifetime in semiconductors.

II. Main Part

Operation concept of a device is follows. The command of control program from a computer (11) via USB port enters field-programmable logic integrated circuit (FPLIC) (9). FPLIC manages the synchronization scheme of a ring of phase-locked loop, digital attenuator (4) and amplifier (10).

Voltage-controlled generator (VCO) (1) generates microwave signal in the range from 4800 to 5300 MHz (Fc). Microwave signal from VCO comes to power divider (2), after it part of signal is received by two-stage microwave amplifier (3), and part by digital frequency synthesizer (6). On the other input of synthesizer signal comes from reference generator (8) with frequency 100 MHz (Fop). On output of frequency-phase detector (FPHD) control signal is formed, which depends on phase difference of signals Fc and Fop. Voltage from output of FPHD is fed through dc amplifier and low-pass filter to control input of VCO and stabilizes intended frequency.

From amplifier exit (3) microwave signal enters digital attenuator (4). From there microwave signal comes through circulator to resonator (14), loaded on metered sample of semiconductor.

Microwave resonator, which provides communication of microwave generator with measured sample of semiconductor, is produced in the form of dielectric resonator and operates in mode "reflection".

Microwave signal, reflected from semiconductor, arrives at detector (7) through circulator (5). Detector has dynamic range ~ 45 dB. Then, detected signal goes to amplifier with programmable amplification factor. With the help of serial code coming from FPLIC gain might vary from 1 to 20, which provides increasing of data signal to the level required for normal operation of analog-digital converter (ADC) (12). ADC device has 100 MHz sampling frequency and amount of buffer memory is 1024 thousand points.

The upper part of Figure 2 shows frequency dependence of reflection coefficient of microwave resonator, which is loaded on silicon slice with resistivity 2500 Ohm×cm. The bottom part of the figure shows time dependence of photoconductivity of plate under the influence of pulse of laser emission with wavelength of 1.06 microns, 30 mW and duration of 1000 microseconds. Results of measurement of lifetime are presented on Figure 3.

III. Conclusion

Developed microwave module allows automatic measuring of minority-carrier lifetime in semiconductors in the range from 0.1 μs to 5ms. The range of resistivity of the semiconductor might vary from 0.05 to 2500 ohms × cm.

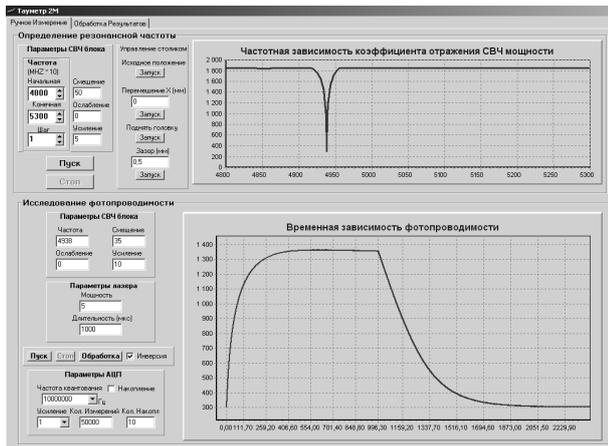


Рис. 2. Окно управляющей программы.

Fig. 2. Window of control program

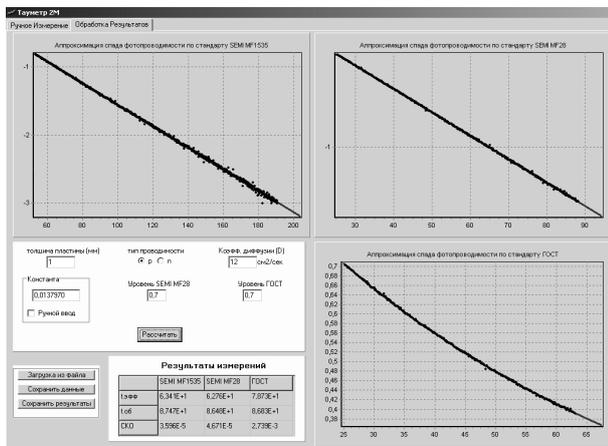


Рис. 3. Результаты измерений ВЖ ННЗ.

Fig. 3. Results of measurements

IV. Заключение

Конструктивно СВЧ модуль выполнен по микрополосковой технологии в пыле-влагозащищенном корпусе. Габаритные размеры модуля 150×80×30 мм. Диапазон перестройки частоты СВЧ модуля составляет 4800 – 5300 МГц. Дискретность 0.1 МГц. Диапазон регулировки мощности 0.01 - 10 мВт.

Разработанный СВЧ модуль позволяет в автоматическом режиме проводить измерения времени жизни неосновных носителей заряда в пластинах и слитках мульти-, поли- и монокристаллического кремния в диапазоне от 0.1 мкс до 5мс. При этом диапазон удельных сопротивлений полупроводника может варьироваться от 0.05 до 2500 Ом×см.

Работа выполнена при финансовой поддержке программы СО РАН «Импортозамещение».

V. Список литературы

- [1] Deb S., Nag B. R. // J. Appl. Phys. 1962. V. 33. №4. P. 1604.
- [2] SEMI MF1535. Test methods for carrier recombination lifetime in silicon wafers by noncontact measurement of photoconductivity decay by microwave reflectance.
- [3] Boda J., Ferenczi G., Horvath P., Mirk Z., Pavelka T. Patent No.: US 5406214. Method and apparatus for measuring minority carrier lifetime in semiconductor materials. Date of Patent: Apr. 11, 1995.