

# МИКРОПОЛОСКОВЫЙ ДАТЧИК ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПОЛУПРОВОДНИКОВ БЕСКОНТАКТНЫМ СВЧ МЕТОДОМ

Владимиров В. М., Марков В. В., Шепов В. Н.  
Красноярский научный центр СО РАН  
г. Красноярск, 660036, Россия  
тел.: 391-2905494, e-mail: shepov@ksc.krasn.ru

**Аннотация** — Разработан микрополосковый датчик для измерения параметров полупроводников бесконтактным СВЧ методом. Проведено сравнение результатов измерений времени жизни неосновных носителей заряда в кремнии с применением данного датчика и с применением ранее известной конструкции микрополоскового датчика.

## I. Введение

Датчики на основе микрополосковых резонаторов (МПР) достаточно широко применяются для исследования физических свойств материалов в дециметровом и сантиметровом диапазонах длин волн. В частности, такие датчики применяются для измерений времени жизни неосновных носителей заряда (ВЖ ННЗ) в полупроводниках [1].

В настоящей работе проводится сравнение измерений ВЖ ННЗ в кремнии на ранее известной конструкции микрополоскового датчика [1] и на предложенной нами в [2].

## II. Основная часть

Размеры МПР для датчиков, предложенных в [1] и в [2] предварительно рассчитывались таким образом, чтобы их частоты были приблизительно равны и попадали в середину частотного диапазона СВЧ модуля, применяемого для измерения ВЖ ННЗ в полупроводниках [3]. Оба МПР были изготовлены на подложке Rogers с диэлектрической проницаемостью 3.4 и толщиной 0.5 мм. Ширина полоскового проводника обоих МПР была равна 0.7 мм. С обратной стороны подложки обоих МПР в экране была вырезана контактная площадка для емкостной связи МПР с линией передачи.

Микрополосковый датчик, предложенный в [1] выполнен на МПР кольцевого типа, с отверстием для лазерного излучения, расположенным снаружи кольцевого проводника. Топология полоскового проводника МПР микрополоскового датчика, предложенного в [2], показана на рис. 1а.

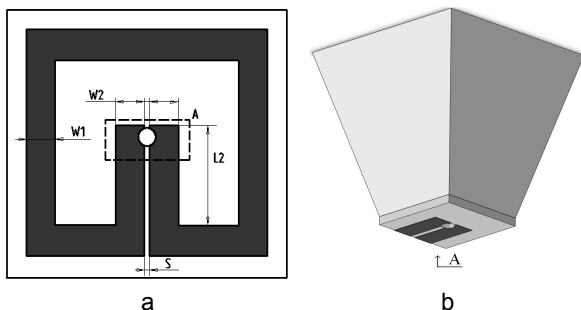


Рис. 1. Топология полоскового проводника (а) и пример конструкции (б) микрополоскового датчика.  
Fig. 1. Topology (a) and preferred embodiment (b) of the microstrip sensor

Противоположные концы полоскового проводника датчика [2] сведены вместе через зазор  $S$ . Ширина проводника  $W1$  может выполняться как одинаковой

по всей длине СВЧ резонатора, так и отличной от ширины  $W2$  на участке проводника длиной  $L2$ . Данное скачкообразное изменение ширины полоскового проводника позволяет регулировать резонансную частоту основной моды колебаний, которая используется для измерения ВЖ ННЗ кремния.

Между концами полоскового проводника МПР выполнено сквозное отверстие, через которое проходит излучение лазерного диода, закрепленного с другой стороны диэлектрической подложки МПР. Конструктивно эта часть устройства была выполнена таким образом, что измеряемый полупроводник воздействовал не на весь СВЧ резонатор целиком, а только на область резонатора «А», обозначенную на рис. 1 (а) и штриховой линией. Остальная часть СВЧ резонатора располагалась на боковой поверхности зонда и соединялась с частью «А» переключками. Один из вариантов конструкции такого датчика показан на рис. 1 (б).

Оба микрополосковых датчика поочередно подключались к СВЧ модулю. С обратной стороны обоих МПР был идентично закреплен полупроводниковый лазерный диод. Длина волны излучения лазерного диода 1.06 мкм, предельная мощность непрерывного излучения 500 мВт.

Мощность СВЧ генератора, мощность и длительность излучения лазерного диода, связь МПР с линией передачи, диаметр отверстия, сквозь которое проходит излучение лазерного диода, зазоры между резонатором и измеряемыми полупроводниками в обоих случаях были одинаковы.

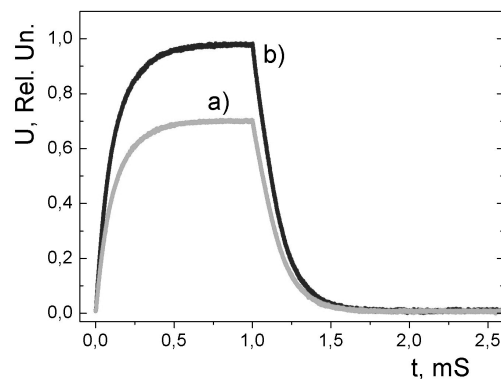


Рис. 2. Временные зависимости фотопроводимости.

Fig. 2. Time dependences of the photoconductivity

На рис. 2 приведены временные зависимости нарастания и спада фотопроводимости для образца монокристаллического кремния с удельным электропроводением ( $\chi_{\text{ЭС}}$ ) 10 Ом $\times$ см, измеренные на датчиках [1] и [2] — кривые (а) и (б) соответственно. Данные получены при мощности СВЧ излучения 50 мВт, мощности излучения лазерного диода 100 мВт, длительности одиночного импульса лазерного излучения 1 мс, зазоре между СВЧ датчиком и образцом кремния 300 мкм.

Из рис. 2 видно, что изменение отраженной СВЧ мощности от образца кремния при воздействии на него импульсного лазерного излучения, приблизительно одинаково для обоих датчиков. Временная зависимость логарифма спада фотопроводимости в обоих случаях хорошо аппроксимируется линейной функцией. Значения ВЖ ННЗ, вычисленные по участку спада фотопроводимости согласно международному стандарту SEMI MF1535 равны 129 мкс и 126 мкс соответственно, что говорит о хорошем совпадении результатов измерения.

На рис. 3 приведены временные зависимости нарастания и спада фотопроводимости для образца мульткристаллического кремния с УЭС  $0,5 \text{ Ом}\times\text{см}$ , измеренные на датчиках [1] и [2], — кривые (а) и (b) соответственно. Данные получены при мощности СВЧ излучения 80 мВт, мощности излучения лазерного диода 400 мВт, длительности импульса лазерного излучения 1 мс, зазоре между СВЧ датчиком и образцом кремния 50 мкм с накоплением данных 10 измерений.

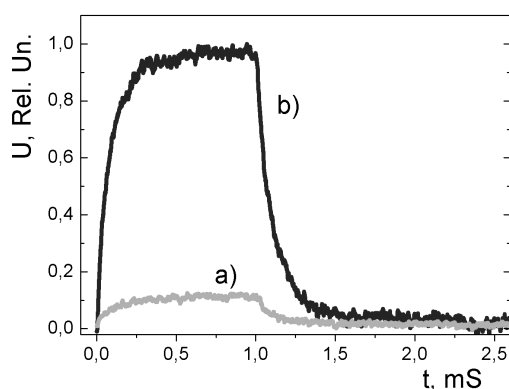


Рис. 3. Временные зависимости фотопроводимости.

Fig. 3. Time dependences of the photoconductivity

Из рис. 3 видно, что изменение уровня СВЧ отраженной мощности от полупроводника под действием лазерного излучения фиксируется на датчике [1] значительно хуже, чем на датчике [2]. Низкая чувствительность датчика [1] обусловлена тем, что полосковый проводник СВЧ резонатора этого датчика выполнен в виде замкнутого кольца. В такой конструкции МПР силовые линии высокочастотного электрического поля сосредоточены, в основном, между проводящим полосковым проводником, выполненным в виде кольца, и заземленным основанием. Измеряемый же образец полупроводника находится над кольцевым проводником МПР, что снижает чувствительность СВЧ резонатора и приводит к потере точности измерений такого датчика. Кроме того, отверстие для лазерного излучения в такой конструкции датчика выполнено не в самой пучности высокочастотного электрического поля, а вблизи него, что так же приводит к потере чувствительности такого микрополоскового датчика.

Чувствительность же СВЧ датчика [2] значительно выше приведенного в [1]. Это происходит потому, что в МПР датчика [2] силовые линии высокочастотного электрического поля замкнуты не только между проводящим полосковым проводником и экраном, но и между противофазными концами полоскового проводника, на которые воздействует измеряемый по-

лупроводник. Кроме того, конструкция датчика была выполнена так, что измеряемый полупроводник воздействовал не на весь СВЧ резонатор целиком, а только на область резонатора «А». Такая конструкция датчика улучшает соотношение сигнал / шум.

Снижение же чувствительности датчика [1] приводит к увеличению погрешности аппроксимации спада фотопроводимости даже при включении режима накопления данных.

### III. Заключение

Таким образом, измерения ВЖ ННЗ в кремнии с помощью предложенного в [2] микрополоскового СВЧ датчика показали, что при измерении ВЖ ННЗ на образцах монокристаллического кремния с УЭС свыше  $10 \text{ Ом}\times\text{см}$  полученные результаты практически не отличаются от данных, полученных с применением микрополоскового СВЧ датчика, конструкция которого предложена в [1].

Однако при измерениях ВЖ ННЗ на образцах мульткристаллического кремния с УЭС менее  $0,5 \text{ Ом}\times\text{см}$  изменение амплитуды СВЧ сигнала на датчике, предложенном в [2], значительно выше, что приводит к повышению точности измерений ВЖ ННЗ. Измерения ВЖ ННЗ на низкоомном кремнии необходимы при обработке технологии получения мульткристаллического кремния для солнечной энергетики.

### IV. Список литературы

- [1] 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.
- [2] Владимиров В. М., Марков В. В., Мартыновский В. Н., Шепов В. Н. Заявка на патент № 2010104582/07. Устройство для измерения электрофизических параметров полупроводников бесконтактным СВЧ методом. Дата заявки от 03.02.2010.
- [3] Владимиров В. М., Коннов В. Г., Марков В. В., Репин Н. С., Шепов В. Н. // Микроэлектроника, 2011. № 4. (в печати).

## MICROWAVE SENSOR FOR NONCONTACT MEASUREMENTS OF SEMICONDUCTORS

Vladimirov V. M., Markov V. V., Shepov V. N.  
Krasnoyarsk Scientific Center of  
Russian Academy Sciences,  
Siberian Branch  
Krasnoyarsk, 660036, Russia  
Ph.: 391-2905494, e-mail: shepov@ksc.krasn.ru

**Abstract** — The microwave sensor for measuring semiconductor parameters by non-contact microwave method has been developed. The results of the minority carrier lifetime (MCL) measurements in silicon using this sensor have been compared with the measurements made using the microstrip sensor of the previously known design [1]. It has been shown that when measuring MCL of the monocrystalline silicon samples with resistivity of more than  $10 \text{ Ohm}\times\text{cm}$ , the obtained results are almost not different from the data obtained using microstrip microwave sensor, whose design is suggested in [1]. However, when measuring MCL of the multicrystalline silicon samples with resistivity of less than  $0.5 \text{ Ohm}\times\text{cm}$  the sensitivity of the sensor suggested in [2] is significantly higher, to result in increasing accuracy of the MCL measurements.