

Физика

УДК 621.315.592

В. М. АРУТЮНЯН, Р. С. БАРСЕГЯН, А. М. ГУКАСЯН

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ В
КОМПЕНСИРОВАННОМ КРЕМНИИ МЕТОДОМ
СКАНИРОВАНИЯ ЛАЗЕРНЫМ ЛУЧОМ

Использован метод сканирования поверхности полупроводника лазерным лучом. Путем регистрации наведенного тока определены величина и характер неоднородностей компенсированного атомами серы кремния. Экспериментальные результаты показали наличие корреляционной связи между распределением неоднородностей и долговременной релаксацией.

Природа физических явлений, происходящих в компенсированном глубокими примесями кремнии и структурах на его основе, во многом обусловлена наличием неоднородностей. Эффектами неоднородностей обычно качественно объясняют такие явления в полупроводниках, как долговременная релаксация (ДР) и остаточная проводимость (ОП) (см., напр. [1—2]).

В данной работе приведены экспериментальные результаты, показывающие корреляционную связь между величиной и характером распределения неоднородностей в кремнии, легированном атомами серы, и ДР, обнаруженной в [3] при исследовании свойств фотодиодов, изготовленных на их основе. Удельное сопротивление отобранных образцов лежало в пределах от 10^3 до $2 \cdot 10^4$ Ом. см [3].

Распределение неоднородностей и их относительные величины определялись методом регистрации наведенного тока при сканировании поверхности образца лазерным лучом с энергией кванта $h\nu \geq E_g$ (см., напр., [4]). В основе метода лежит процесс оптической генерации электронно-дырочных пар с последующим их разделением внутренним полем потенциального барьера любого происхождения (напр., p-n, p⁺-n, p⁺-p-переходы, барьер Шоттки).

Метод реализован на установке 09ЭЛЗ-2 («Гибрид»-31 ИК) с внешением соответствующих изменений. Блок-схема установки в измененном варианте представлена на рис. 1. Свет от гелий-неонового лазера ЛГ-126 отражается от зеркального дефлектора, обеспечивающего развертку луча по оси X. Работа дефлектора основана на вращении рамки с переменным током в постоянном магнитном поле. Развертка по оси X осуществляется пилообразным напряжением от генератора развертки с частотой 12 Гц. Эти же управляющие сигналы обеспечивают развертку электронного луча на экране электронно-лучевой трубки (ЭЛТ). Развертка по оси X производится вручную с помощью микрометрического винта предметного столика.

Отразившись от зеркального дефлектора, свет от гелий-неонового лазера проходит через прерыватель. Прерывателем служит стеклянная пластина толщиной 400 мкм, на одной из поверхностей которой имеются металлические полоски. Ширина каждой полоски и расстояние между ними равны 50 мкм.

Пройдя через прерыватель, свет от лазера с помощью объектива микроскопа фокусируется на поверхности исследуемого образца. Смен-

ные объективы микроскопа позволяют получить световые пятна диаметрами 9, 6 и 3 мкм, при этом длины сканирующих отрезков меняются от 1,2 до 0,4 мм.

Во избежание шумов поверхность исследуемого образца полировалась. Это проводилось в следующих целях: 1) шлифованная поверхность имеет шероховатости, и отражение неодинаково в зависимости от конкретной области; 2) приповерхностный разрушенный слой имеет большую скорость поверхностной рекомбинации, в результате чего имеют место осцилляции наведенного тока.

Полировка проводилась путем химической обработки образца раствором HNO_3 и HF в отношении 1:10.

Сигнал фотоответа снимался с образца при помощи металлических контактов. Для получения четкой картины характера распределения неоднородностей через контакты на поверхность напыляются никелевые полоски. Определенных требований к контактам не предъявлялось. Они могли быть как омическими, так и неомическими. Неомические контакты играют всего лишь роль последовательно включенных сопротивлений, ограничивающих ток. Области пространственного заряда (ОПЗ), образующиеся вокруг неомических контактов, не могли исказить истинной картины характера распределения неоднородностей. Сигнал фотоответа, снимаемый с образца, поступает в усилитель, дважды дифференцирующий этот сигнал. На рис. 2а и 2б показаны осциллограммы вдоль одной

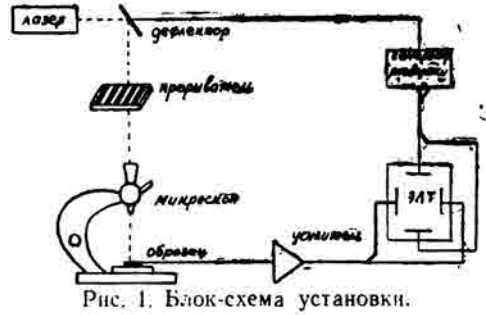


Рис. 1. Блок-схема установки.

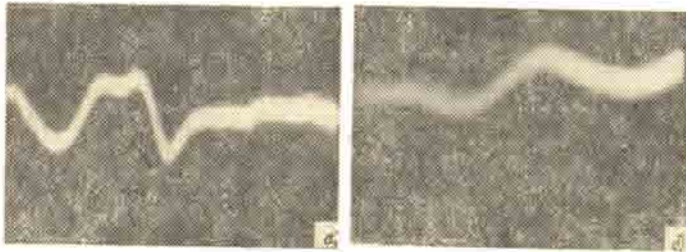


Рис. 2. Осциллограмма вдоль одной строки 1: при регистрации фототока; 2) усилителем, дважды дифференцирующим сигнал. б) усилителем, не дифференцирующим сигнал.

строки при регистрации фототока усилителями, один из которых дважды дифференцирует сигнал, другой — не дифференцирует. Эти осциллограммы снимались с образца, обладающего резко выраженными неоднородностями, для выявления которых достаточно применение усилителя, не дифференцирующего сигнал. Из сопоставления рис. 2а и 2б видно, что дважды дифференцированный сигнал искажает истинную картину распределения неоднородностей. Для получения истинной картины необходимо использование прерывателя, модулирующего падающий свет. Из рис. 3 видно, как применение прерывателя позволяет графически (по точкам) построить картину распределения неоднородностей, которая соответствует действительной. Освещение компенсированного материала с его высоким сопротивлением приводит к малым значениям наведенного тока, поэтому требуется наличие усилителя высокой чувствительности. Усилитель, использовавшийся в эксперименте, разработан в Научно-исследовательском технологическом институте микроэлектроники (НИТИМ). Его чувствительность при соотношении сигнал — шум равна 3:1, и сопротивление источника 10^8 Ом составляет 10^{-9} А .

Измерения проводились при комнатной температуре. Явления ДР при этой температуре не наблюдаются и, следовательно, не могут исказить истинную картину. На рис. 4а и 4б для двух образцов приведены

двумерные топограммы распределения неоднородностей в приповерхностных слоях толщиной $\sim \frac{1}{\alpha}$ (α —

коэффициент поглощения), определенные описанным методом при сканировании светом с длиной волны $\lambda = 0,63 \text{ мкм}$ ($\alpha = 4 \cdot 10^3 \text{ см}^{-1}$). На образце с большими неоднородностями в [3] наблюдалось большее время релаксации. Поскольку величины удельных сопротивлений этих образцов мало отличались друг от друга ($1,8 \cdot 10^4 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ и $1,5 \cdot 10^4 \text{ Ом}\cdot\text{см}$), то разность в измеряемых величинах фототоков не могла быть обусловлена разностью ограничивающих ток сопротивлений неосвещенных участков образцов. Сканирование

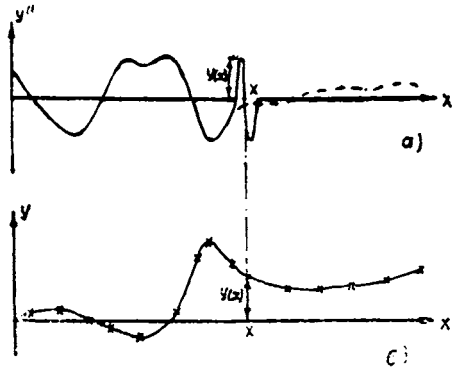


Рис. 3. а) Принцип построения и б) экспериментальная кривая распределения фототока вдоль одной строки в случае применения прерывателя и усилителя, дважды дифференцирующего сигнал.

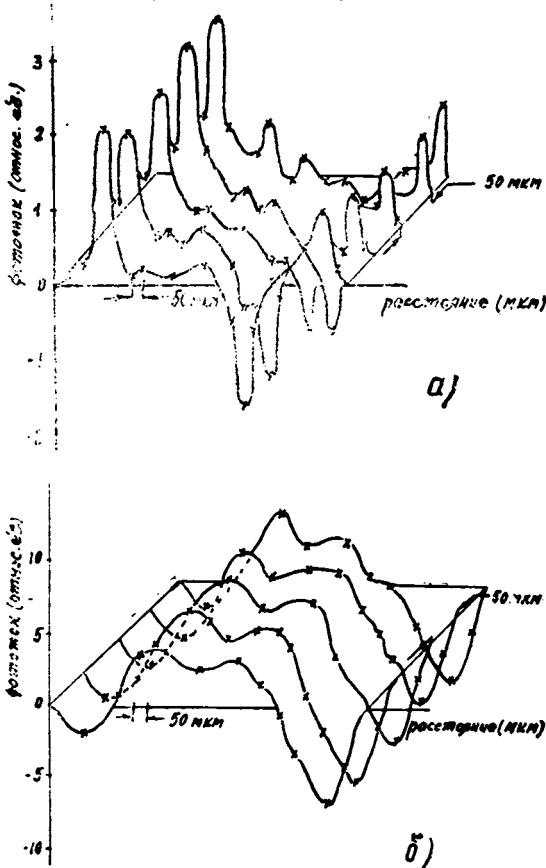


Рис. 4. Двумерные топограммы распределения неоднородностей а) для образца с маловыраженными неоднородностями, б) для образца с резко выраженными неоднородностями.

светом с длиной волны $\lambda = 1,15 \text{ мкм}$ ($\alpha = 3 \text{ см}^{-1}$) показало, что величина неоднородностей в объеме такого же порядка, что и в приповерхностном слое. Изменение длины волны лазера позволило исключить влияние поверхности.

Образцы с удельным сопротивлением около $10^3 \text{ Ом}\cdot\text{см}$ содержали слабо выраженные неоднородности или были однородными в пределах чувствительности установки. Явления ДР в них не наблюдались.

Предложенный метод сканирования лазерным лучом имеет свои преимущества: он прост в осуществлении, неразрушающий и в то же время экспрессный. Хотя этот метод не дает трехмерного представления распределения неоднородностей, но он позволяет судить о них вплоть до определения того, какой характер они носят (р-п переход или градиент концентрации).

ЛИТЕРАТУРА

1. Шейнкман М. К., Шик А. Я. Долговременные релаксации и остаточная проводимость в полупроводниках.— ФТП, 1976, т. 10, в. 2.
2. Бахадырханов М. К., Нигманходжаев С. С. Отрицательная фотопроводимость в кремнии, легированном марганцем.—ФТП, 1976, т. 12, в. 7.
3. Отчет проблемной лаборатории физики полупроводниковых материалов и приборов ЕГУ за 1983 г. Инв. № 0071171.
4. Арутюнян В. М., Марукян В. Ш., Паносян Ж. Р., Бадалян Ф. Г. Фоточувствительные области в базе S-фотоприемника.—ФТП, 1982, т. 16, в. 5.

Վ. Մ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ, Ռ. Ս. ԲԱՐՍԵՂՅԱՆ, Ա. Մ. ՂՈՒԿԱՍՅԱՆ

ՓՈՆԶԱՏՈՒՑՎԱԾ ՍԻԼԻՑԻՈՒՄՈՒՄ ԱՆՀԱՄԱՍԵՌՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ
ՀԵՏԱԶՈՏՈՒՄԸ ՓՈՌՂ ԼԱԶԵՐԱՅԻՆ ՃԱՌԱԳԱՑՔԻ ՄԵԹՈԴՈՎ

Ա մ փ ո փ ու մ

Կիսահաղորդչի մակերևույթում լազերային ճառագայթի փոման հետեւանքով մակածված հոսանքի գրանցման օգնությամբ որոշվել է ծծմբի ատոմներով փոխհատուցված սիլիցիումում անհամասեռությունների բնույթը և բաշխումը:

Փորձնական արդյունքները համահարաբերակցական կապ են հաստատում անհամասեռությունների բաշխման և հաղորդականության երկարժամանակյա ռելակսացիայի միջև: