

**МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОДНОРОДНОСТИ
ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛАСТИН И СТРУКТУР НА ИХ ОСНОВЕ****Э.М.ГОДЖАЕВ¹, Р.К.ГУСЕЙНОВ², Ш.М.ГАСАНЛИ³, Н.Ю.САФАРОВ¹***Азербайджанский Технический Университет¹**Гянджинский Государственный Университет²**Институт Физики НАН Азербайджана³*

В работе описана методика получения косоугольного шлифа (клина) методом химического травления для полупроводниковых материалов. Экспериментальным путем найдены оптимальные составы травителей и скорости травления кремниевых пластин и структур на их основе с различными удельными сопротивлениями.

Введение

Развитие твердотельной электроники неразрывно связано как с новыми методами получения полупроводниковых материалов, так и исследованием их электрофизических параметров. Это связано с тем, что создание новых полупроводниковых приборов требует знания более тонких свойств полупроводниковых материалов.

Отметим, что к основным параметрам полупроводникового материала, определяющим свойства полупроводниковых приборов, относятся удельное сопротивление, подвижность и концентрация носителей тока, концентрация доноров, акцепторов и глубоких ловушек, время жизни и т.д. Существуют различные методы исследования вышеуказанных параметров: электрические, оптические, фотоэлектрические и т.д. При этом эти методы не должны разрушать структуру образца и не требовать его специальной обработки.

Следует подчеркнуть, что измерения удельной электропроводности осуществляют не только для установления данного параметра при технологических процессах, но также для определения косвенными методами других важных параметров полупроводниковых материалов.

Работа посвящена методике получения косоугольного шлифа определения однородности распределения удельного сопротивления кремниевых пластин как по поверхности, так и по толщине пластины.

Методика эксперимента

Многие методы измерения удельного сопротивления полупроводниковых материалов основаны на измерении падения напряжения на некотором участке образца, через который пропускается электрический ток. При этом известно, что на контакте полупроводникового материала и металлического электрода при

протекании электрического тока, могут возникнуть ряд физических эффектов и явлений, к наиболее важным которых относятся: 1) высокое переходное сопротивление контакта, особенно когда контакт имеет выпрямительную характеристику, 2) инжекция неосновных носителей заряда контактом, существенно влияющая на величину удельного сопротивления образца, 3) эффект Пельтье, приводящий к возникновению градиента температуры на образце и соответствующей этому градиенту термо э.д.с, 4)нагрев образца электрическим током, протекающим через образец. Эти эффекты и явления могут вносить существенную погрешность в результаты измерений.

Для измерения удельного сопротивления слитка или пластины используют специальные двухзондовые, трехзондовые, четырехзондовые методы[1-6]. Эти методы измерения являются классическими, они позволяют определять параметры как в объемных кристаллах, так и в тонких пленках. Среди них наиболее широкое распространение получило четырехзондовый метод, предложенный Вальдесом в 1954 году[7].

. Суть метода заключается в следующем: на плоской поверхности образца, который представляет собой полу бесконечный объем, ограниченный плоской поверхностью, размещают четыре металлических игловок-зондов с малой площадью соприкосновения на одной линии (рис. 1).

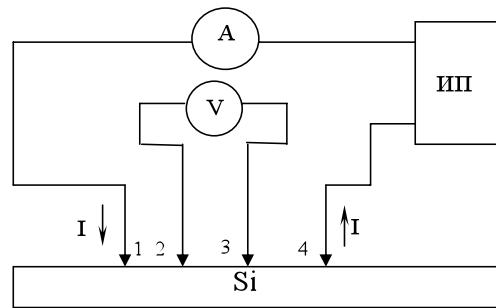


Рис.1. Измерение удельного сопротивления четырехзондовым методом при расположении зондов в линии.

Данный метод не требует создания омических контактов к образцу и позволяет измерять удельное сопротивление образцов самой разнообразной формы и размеров. Область его применения простирается от оценки параметров больших полупроводниковых заготовок до определения примесей в диффузионных слоях.

Как видно из рисунка 1 все четыре зонда расположены вдоль одной линии. Через две внешние зонды 1 и 4 пропускается электрический ток I , а на двух внутренних зондах 2 и 3 измеряется падение потенциала U_{23} . По измеренным значениям разности потенциалов между зондами 2 и 3 и тока I , протекающего через зонды 1 и 4, по формуле (1) определяется величина удельного сопротивления образца.

$$\rho = U_{2,3} / I \times 2\pi s, \quad (1)$$

где $U_{2,3}$ (В)- падение потенциала между зондами 2,3, I (А)-величина тока, проходящего через образец, S (м)-расстояние между зондами.

Данный метод широко используется для измерения толстых однородных пластин ($d > 4s$) кремния с удельным сопротивлением от 10^{-4} до $5 \cdot 10^3$ Ом см.

Согласно литературным данным ошибки измерений четырехзондовым методом могут иметь различную природу. Например, погрешность, может быть, обусловлена колебанием межзондовых расстояний в процессе измерений. Кроме того, в ряде случаев могут возникнуть ошибки за счет инжекции носителей из токовых зондов, за счет различных тепловых эффектов, например, из-за нагрева образца в процессе измерения и т.д. Погрешность измерений удельного сопротивления этим методом была равна порядка 10%.

МЕТОДИКА ПОЛУЧЕНИЯ КОСОГО ШЛИФА (КЛИНА) НА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛАСТИНАХ

Прежде всего, нужно отметить, что метод получения косого шлифа является единственным, который позволяет определить: распределение удельного сопротивления по глубине полупроводниковой пластины, а также толщину каждого слоя в многослойных эпитаксиальных структурах. Кроме того, этот метод может быть использован не только для определения положения р-п-перехода, но и для нахождения границы слоя в р-р⁺ (n-n⁺) -структурах.

Косой шлиф (клин) можно получить механическим шлифованием или травлением. Однако, с точки зрения технологичности и воспроизводимости результатов исследования проводимости, является метод травления. Кроме того, на конечном этапе подготовки механически шлифованных образцов полупроводников также используется травление.

На практике для травления полупроводниковых пластин чаще всего используются кислые или щелочные травители. Каждый травитель содержит окислитель (HNO_3 , H_2O_2 и т.п.), комплексообразующий компонент, способный создавать с атомами полупроводника растворимые в воде соединения (HF , NaOH и т.д.). Кроме того, в состав травителя вводятся компоненты влияющие на скорость химической реакции (CH_3COOH , Br_2 , J_2 , AgNO_3 , $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ и т.д.), либо на скорость травления в определенных кристаллических направлениях.

Отметим, что процесс травления является экзотермическим. Поэтому со временем температура травителя будет меняться, особенно в медленно действующих травителях. Кроме того, состав травителя вблизи поверхности полупроводника и на периферии будет неодинаков.

С учетом вышеизложенных нами была собрана экспериментальная установка, которая приведена на рис.2.

В связи с этим, необходимо работать с большим (по отношению к объему полупроводника) объемом травителя и при постоянном перемешивании последнего. Тщательное перемешивание предотвращает местный нагрев части поверхности полупроводника. И тем самым и более быстрое травление его, соответственно исключает появление неровностей и шероховатостей.

Образец, закрепленный на фторопластовый держатель 2 с помощью двигателя типа РД-1,5—4, плавно опускался в ванну-6 с травителем. Скорость погружения, образца которого необходимо было травить, регулировалась с помощью источника постоянного тока с выходным напряжением 0-12 В и малооборотным редуктором. С целью получения лучшего качества клина травитель пе-

ремешивался мешалкой, приводимой в движение двигателем с редуктором РД-0,9 –9 с помощью шкиво-ременной передачи. Для сохранения геометрии образцов их обратные стороны покрывались химически стойким лаком(ХСЛ).

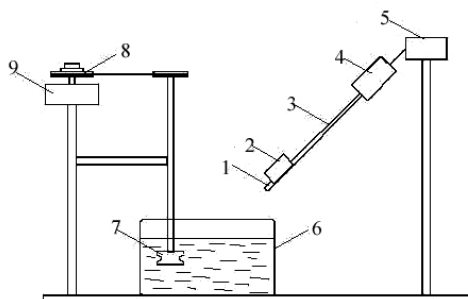


Рис.2. Схема установки для получения клина химическим травлением: 1-кремниевая пластина, 2-держатель образца, 3-направляющие, 4-двигатель образца, 5-стойка, 6-ванна с травителем, 7-мешалка, 8-шкиво-ременная передача, 9-двигатель РД-0,9.

Скорость травления полупроводниковых пластин зависит от многих факторов, среди которых особое место занимают состав травителя и температура травления. Причем, состав травителя влияет как на скорость и температуры травления, так и на качество протравленной поверхности полупроводника. Получение клина с использованием травителей предполагает его погружение с постоянной скоростью, которая определяется скоростью травления и геометрией клина.

Для травления кремниевых пластин с n и p -типом проводимости ориентировочно были взяты два состава травителя:

1 $\text{HNO}_3 + \text{HF} + \text{CH}_3\text{COOH}$ -соотношение в весовых частях 5:3:3.

2. $\text{HNO}_3 + \text{HF} + \text{K}_2\text{S}_2\text{O}_7$ - соотношение в весовых частях 20:20:0.04

К травлению были подвергнуты кремниевые пластины типа ЭКЭС-0.01 толщина образцов 320 ± 20 мкм, с диаметром 60 мм, КДБ-0.005 с толщиной 350 ± 20 мкм и с диаметром 76 мм, 16.5 КЭФ 4 с толщиной 337 ± 20 мкм и диаметром 76 мм. Эксперименты показали, что в травителе №1 скорость травления полупроводниковых пластин типа КДБ-0.005; ЭКЭС-0.01; КЭФ-4 равна 0.1-0.2 мкм/сек. Поверхность пластин получается зеркальной. Однако, в вертикальном и горизонтальном направлениях поверхности пластины получают полосы с глубиной 2-5 мкм, также неровности в горизонтальном направлении. Дальнейшие опыты показали, что эти неровности связаны с газовыми пузырьками, прилегающими к поверхности пластины. Неровности в горизонтальном направлении были удалены путем введения в травитель смачивателя (0.01%), который сильно уменьшило поверхностное натяжение. Путем изменения соотношения компонентов, в частности, увеличивая количество HF до четырех весовых величины, удалось увеличить скорость травления до 1-2 мкм/сек. При этом оказалось, что поверхность пластины становится более однородной, практически исчезли продольные полосы и ямки, обусловленные выходом дислокаций. Следует также

отметить, что более обильное выделение газов при травлении и введенный смазочиватель, приводят к интенсивному перемешиванию травителя. Это в свою очередь способствует установлению постоянной скорости травления по всей площади образца.

Скорость травления при использовании состава №2 оказалась в пределах 1-3 мкм/сек. При этом качество поверхности было более однородное, чем при использовании состава травителя №1.

Установлено, что при скоростях травления более 2 мкм/сек. поверхность образца становится зернистой (шероховатой). Образец полупроводника разогревается до 70° С, на поверхности появляются продукты реакции, которые можно убрать, поместив образец на 3-5 сек. в травитель №1. Нами для получения клина использовался состав травителя №2(по HNO_3 и HF)(рис.3,4.).

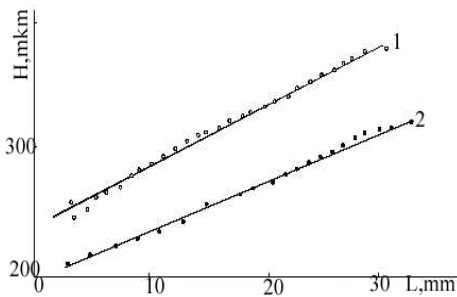


Рис.3. Зависимость толщины косо шлифа(клина) , полученного химическим травлением от длины кремниевых пластин: 1- кремниевая пластина марки КДБ-0,005, 2- кремниевая пластина марки ЭКЭС-0,01

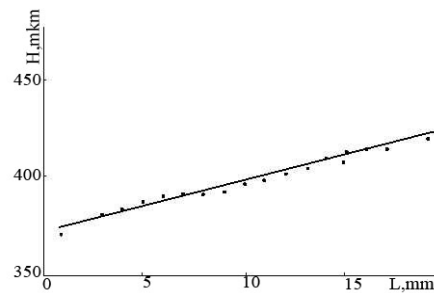


Рис.4. Зависимость толщины косо шлифа(клина) , полученного химическим травлением от длины кремниевой эпитаксиальной структуры 16,5КЭФ-4.

Экспериментально, путем постепенного увеличения концентрации $\text{K}_2 \text{Cr}_2 \text{O}_7$ добивались скорости травления 1 мкм/сек. или 2 мкм/сек. в зависимости от типа полупроводника и геометрии клина. При одном и том же составе травителя скорость травления КДБ-0.005 была в два раза выше, чем ЭКЭС-0.01 и в 5 раз выше, чем 16.5КЭФ-4 с эпитаксиальным слоем. Отсюда следует, что для получения качественного клина необходимо опытным путем для каждого типа полупроводника подобрать состав травителя, который обеспечил бы скорость травления 2мкм/сек.

Отметим, что после окончания процесса травления образец быстро вынимался из ванны, промывался в дистиллированной воде и высушивался. Для получения профилей распределения удельного сопротивления по толщине пластины процесс измерения проводился с выбранным шагом по клину, полученный химическим травлением. Погрешность определения величины шага составляла $\pm 3\%$.

Выводы

Разработана конструкция установки для получения клина на кремниевых пластинах и структурах на их основе с помощью химического травления. Отра-

ботаны режимы получения косо́го шлифа(кли́на) с помощью химического травления с заданной и воспроизводимой геометрией, а также выбран состав травителей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агарев В.Н., Пантелеев В.А. Четырехзондовый метод измерения удельного сопротивления полупроводников. 2005, Труды Нижнее Новгородского Университета (ННГУ), с.16.
2. Павлов Л.П. Методы определения основных параметров полупроводниковых материалов. -М.: Высшая школа, 1997. 300с.
3. Vyvenko O.E., Sachdeva R.A. Study of diffusivity and electrical properties of Zr and H.F in silicon. In Semicondutor silicon 2-2002. The Electrochemical society Pennington p.410.
4. Соцков В.А., Карпенко С.В. Общие закономерности процессов электропроводности в бинарных микросистемах. Журнал технической физики. 2003, том 73, в.1, с.106.
5. Зимин С.П., Комаров Е.Л. Влияние кратковременного отжига на проводимость кремния и переходное сопротивление контакта алюминий-пористый кремний. 1998, Письма ЖТФ, т.24, №6, с.45.
6. Захаров А.Г., Колпачев А.Б. Глубокие энергетические уровни в кремнии, обусловленные комплексами: атомы замещения титана и кислорода, атомы замещения титана и углерода. (Сборник докладов международной научной конференции «Химия твердого тела и современные микро-и нанотехнологии»).-Кисловодск. 2002. –С.216-218.
7. Valdes L.B. Resistivity measurement on germanium for transistors. Proc. IRE, 1954, v.42, №2, p.420.

YARIMKEÇİRİCİ MATERİALLARIN VƏ ONLARIN ƏSASINDA YARADILMIŞ STRUKTURLARIN BİRCİNSLİYİNİ TƏYİNƏTMƏ METODLARI

E.M.QOÇAYEV, R.K.HÜSEYNOV, Ş.M.HƏSƏNLİ, N.Y.SƏFƏROV

XÜLASƏ

İşdə silisium lövhələrində və onların əsasında yaranmış strukturalarda elektrik müqavimətinin onların qalınlığından asılı olaraq dəyişməsinə təyin etmə metodu təklif edilib və yaradılıb.

METHODS OF DEFINITION OF HOMOGENEITY OF SEMICONDUCTOR PLATES AND STRUCTURES ON THEIR BASED

E. M. GOJAYEV, P. K. SHUSEYNOV, Sh. M. SHASANLI, N. Y. SAFAROV

SUMMARY

In paper the construction of installation is developed for reception of a wedge by chemical etching. With the purpose of definition of homogeneity of allocation of a specific resistance of silicon plates.