

УДК 621.891

МЕТОДЫ КАРТИРОВАНИЯ ПРИБОРНЫХ СЛОЕВ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛАСТИН

Р. И. ВОРОБЕЙ, О. К. ГУСЕВ, А. Л. ЖАРИН, К. В. ПАНТЕЛЕЕВ, А. В. САМАРИНА, А. И. СВИСТУН, А. К. ТЯВЛОВСКИЙ, К. Л. ТЯВЛОВСКИЙ

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

UDC 621.891

METHODS OF DEVICE LAYERS MAPPING FOR SEMICONDUCTOR WAFERS

R. I. VOROBAY, O. K. GUSEV, A. L. ZHARIN, K. Y. PANTSIALEYEU, A. Y. SAMARINA, A. SVISTUN, A. K. TYAVLOVSKY, K. L. TYAVLOVSKY

Аннотация

Выполнен сравнительный анализ методов картирования приборных слоев полупроводниковых пластин. Показана перспективность методов на основе регистрации изменений потенциала поверхности зондовым электрометрическим преобразователем в режиме статической либо динамической фотоЭДС, отличающихся полностью неразрушающим характером измерений и позволяющих получить ряд новых количественных и качественных характеристик приборных слоев.

Ключевые слова:

картирование, полупроводниковая пластина, приборные структуры, зондовая электрометрия, поверхностная фотоЭДС.

Abstract

Methods of device layers mapping for semiconductor wafers are discussed and compared. Probe electrometry methods based on surface potential registration in a static or dynamic SPV mode allow a completely non-destruction testing that gives a number of new quantitative and qualitative parameters of the device layers.

Key words:

mapping, semiconductor wafer, device layers, probe electrometry, surface photovoltage.

Первые разработки в области картирования приборных слоев полупроводниковых пластин относятся к 1970-м гг. [1, 2]. В качестве контролируемого параметра при этом выступала однородность распределения легирующей примеси после ионной имплантации. Сканирование выполнялось в ручном режиме с представлением результатов в виде текстовой таблицы. Далее на основании полученной таблицы строились двумерные либо трехмерные карты. Контроль однородности распределения легирующей примеси осуществлялся на основе измерений удельного поверхностного сопро-

тивления в ряде дискретных точек поверхности образца. В качестве дополнительного наглядного средства контроля однородности распределения, при использовании данных методов, может использоваться построение профиля удельного поверхностного сопротивления либо иного параметра вдоль определенной линии или нескольких параллельных линий [3].

В настоящее время в число применяемых при картировании приборных слоев полупроводниковых пластин методик входят также измерение поверхностного сопротивления четырехзондовым методом, модулированная фоторефлектометрия, оптическая денситометрия [4].

Четырехзондовый метод измерения поверхностного сопротивления имеет ряд ограничений:

- 1) метод является контактным, при этом результат измерений зависит от качества контакта зондов с поверхностью полупроводника;
- 2) при низких уровнях легирования проводника, дающих малые значения поверхностной проводимости, метод характеризуется большими погрешностями;
- 3) ток в цепи измерительного преобразователя сопоставим с поверхностными токами утечки.

Наличие непосредственного механического контакта зонда с поверхностью полупроводниковой пластины выводит данный метод из категории неразрушающих.

Метод модулированной фоторефлектометрии, называемый также методом тепловой волны, может быть реализован без непосредственного контакта измерительного преобразователя с поверхностью полупроводниковой пластины [5, 6]. Схема реализации метода показана на рис. 1.

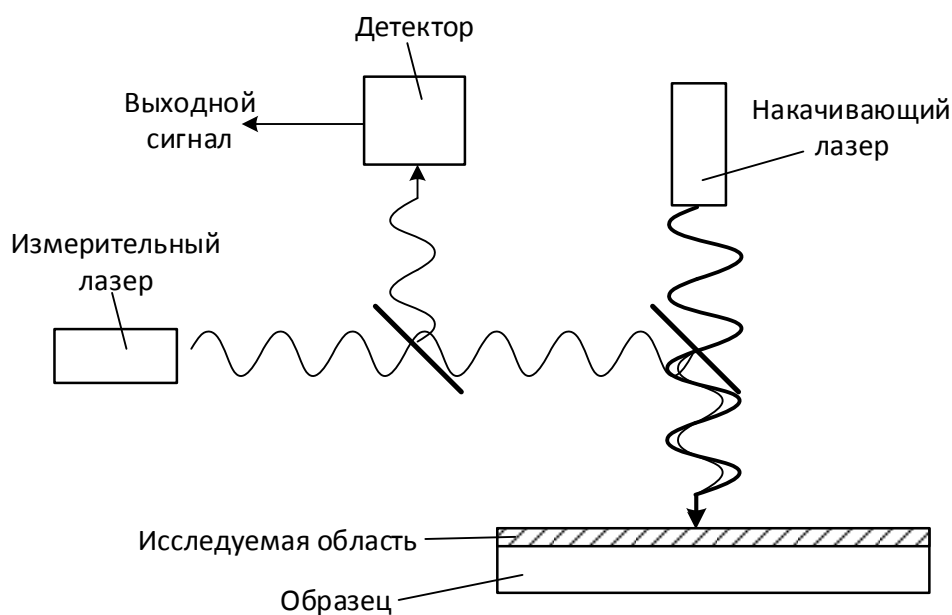


Рис. 1. Схема картирования приборных слоев полупроводниковой пластины методом модулированной фоторефлектометрии

Излучение накачивающего Ag^+ лазера модулируется с частотой от 100 кГц до 10 МГц, что приводит к локальному нагреву поверхности полупроводниковой пластины в точке воздействия и распространению по ее поверхности волн нагрева, частота которых соответствует частоте модуляции; в частности, при частоте модуляции 1 МГц длина волны (расстояние между гребнями волн нагрева) составит от 2 до 3 мкм [5]. Скорость распространения волны нагрева зависит от наличия дефектов в исследуемой области, что приводит к искажению ее фронта при прохождении волны через дефект. Коэффициенты отражения поверхности полупроводниковой пластины в зонах гребня и впадины волны нагрева будут различными как вследствие термического расширения материала (термоупругий эффект), так и вследствие существующих для полупроводника термооптических эффектов [7]. Для регистрации данных различий и, соответственно, определения формы фронта волны нагрева для последующего вычисления скорости ее распространения используется второй (измерительный) лазер.

Преимуществами метода модулированной фоторефлектометрии является возможность выполнения измерений при нормальных внешних условиях (без использования вакуумной камеры), независимость результатов исследования от наличия и толщины диэлектрического слоя на поверхности полупроводниковой пластины, возможность одновременного определения типа дефектов на основании измерения скорости распространения волны нагрева, зависящей от межатомного расстояния, и их концентрации на основании отношения коэффициентов отражения в максимумах и минимумах волны нагрева, полностью неразрушающий характер исследования. В то же время, вследствие того, что распространение волны нагрева происходит во всем объеме полупроводника, а не только на поверхности пластины, метод модулированной фоторефлектометрии не позволяет уверенно различать дефекты поверхности и объема полупроводника, и при этом характеризуется сложностью технической реализации.

Принципиальная возможность картирования приборных структур в тонких поверхностных слоях обеспечивается при условии резкого контраста в удельной электрической проводимости подложки и контролируемого слоя, т.е. при наличии мелких $p-n$ переходов [3]. В этом случае коэффициенты отражения подложки и поверхностного слоя также будут различными, вследствие их разной удельной электрической проводимости, однако эта разница слишком мала для выполнения измерений традиционными методами. Резкого повышения удельной электрической проводимости и, соответственно, коэффициента отражения оптического излучения можно добиться локальным воздействием на поверхность оптическим излучением высокой интенсивности (в частности, лазерным) с длиной волны, соответствующей ширине запрещенной зоны кремния, что приводит к генерации в зоне воздействия избыточных носителей заряда. В частности, для воздействия может использоваться лазер с длиной волны 830 нм, при этом более длинноволновой лазер с $\lambda = 980$ нм используется для измерения коэффициента отражения. Распределение избыточных носителей заряда в подложке является равномерным (плоским), с резким спадом на границе профиля легирования (на $p-n$ переходе). Изменение коэффициента отражения Δn



связано с величиной избыточной концентрации носителей заряда ΔN известным соотношением [8].

Схема технической реализации данного метода соответствует рис. 1. Различие с методом тепловой волны состоит в режиме воздействия на поверхность полупроводниковой пластины, при котором модулированное оптическое (лазерное) излучение используется для инжекции избыточных носителей заряда в точке выполнения измерений, а не для генерации волн нагрева.

Большой интерес в настоящее время проявляется к методам картирования приборных слоев полупроводниковых пластин на основе зондовой электрометрии, исследования в области которых в течение длительного времени проводятся в НИЛ полупроводниковой техники Белорусского национального технического университета (рис. 2). При использовании методов зондовой электрометрии избыточная концентрация носителей заряда может быть определена путем бесконтактной регистрации изменения электрического потенциала поверхности полупроводниковой пластины при воздействии на нее модулированным оптическим излучением, что является значительно более чувствительным и, соответственно, более точным методом, чем косвенные измерения путем регистрации изменений коэффициента отражения. Помимо повышения точности, данный метод характеризуется более простой технической реализацией. Картирование приборных слоев полупроводниковых пластин при использовании данного метода может выполняться в одном из двух режимах:

а) режим статической фотоЭДС. В этом режиме поверхность полупроводниковой пластины локально освещается монохроматическим оптическим излучением с изменяющейся длиной волны. Поскольку глубина проникновения оптического излучения в кремний является функцией от его длины волны, регистрация изменений величины поверхностной фотоЭДС либо изменений интенсивности оптического излучения при поддержании постоянного значения поверхностной фотоЭДС на разных длинах волн позволяет определить длину диффузии генерируемых при таком воздействии избыточных носителей заряда в приповерхностных слоях полупроводника;

б) режим динамической фотоЭДС. В этом режиме освещение поверхности полупроводника осуществляется короткими импульсами высокой интенсивности. Анализ зависимости поверхностной фотоЭДС от длительности импульса и плотности мощности оптического излучения в импульсе позволяет определить величину поверхностного изгиба энергетических зон, скорость рекомбинации и время жизни неравновесных носителей заряда. При наложении на полупроводник электростатического поля известной напряженности, например, путем осаждения на окисленную поверхность полупроводника электрического заряда в коронном разряде, данный режим дополнительно обеспечивает возможность определения и картирования энергетического профиля поверхностных состояний D_{it} [9].



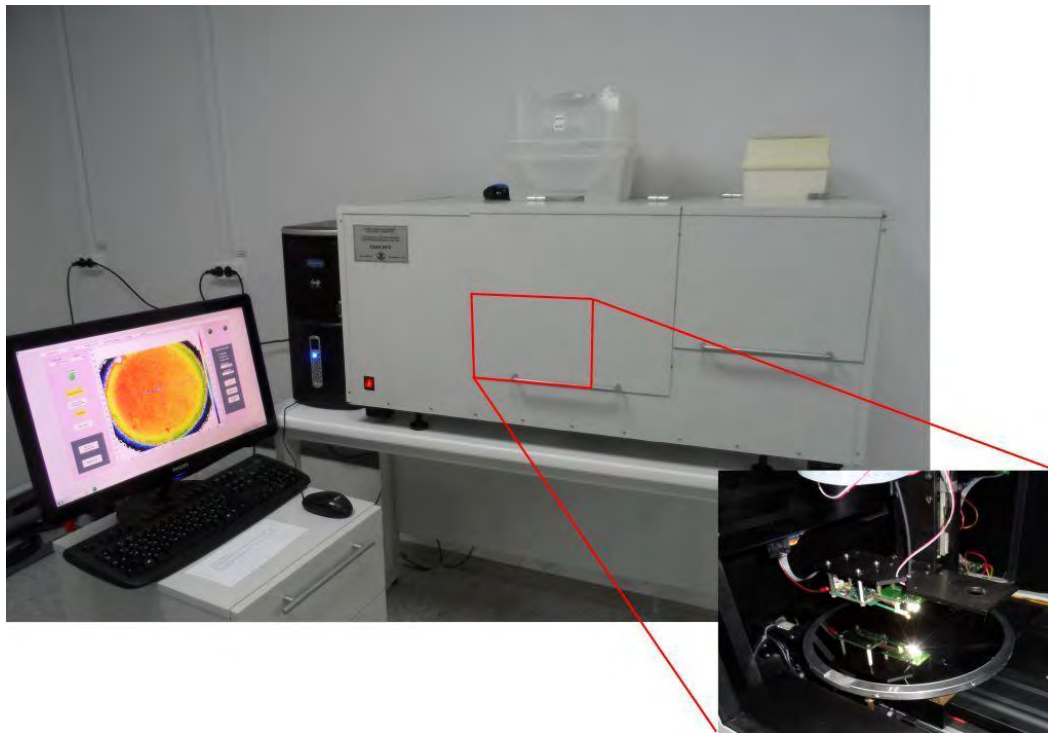


Рис. 2. Установка для неразрушающего контроля полупроводниковых пластин методом зондовой электрметрии, разработанная в НИЛ полупроводниковой техники БНТУ

Предлагаемая структурная схема установки, реализующей оба указанных режима измерений, приведена на рис. 3.

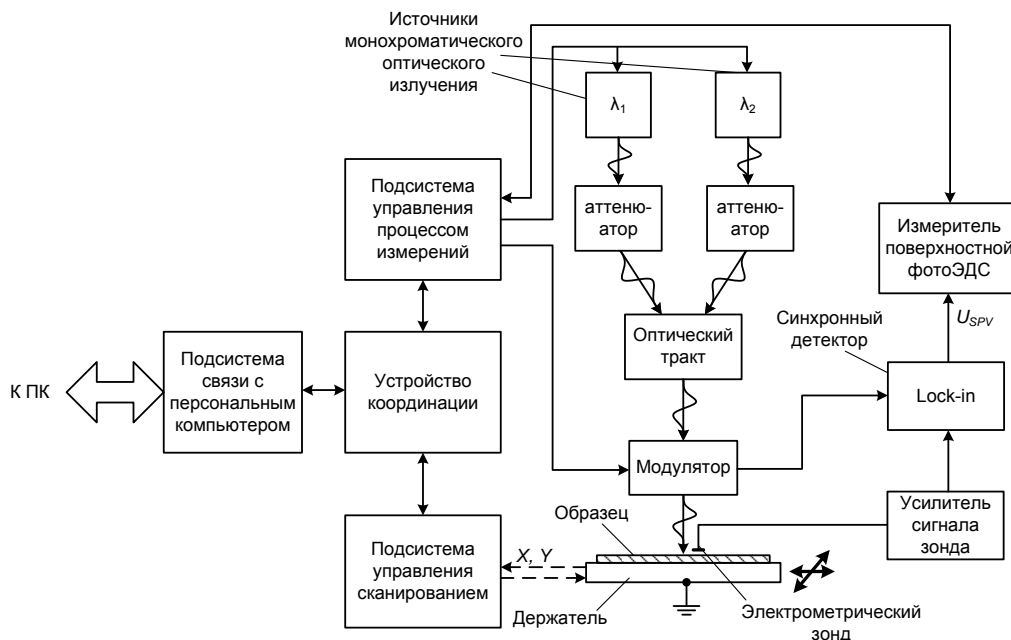


Рис. 3. Схема разрабатываемой установки картирования приборных слоев полупроводниковых пластин на основе регистрации изменений потенциала поверхности зондовым электрметрическим преобразователем в режиме статической либо динамической фотоЭДС

Существенными преимуществами разрабатываемых средств измерений на основе регистрации изменений потенциала поверхности зондовым электрометрическим преобразователем в режиме статической либо динамической фотоЭДС являются полностью неразрушающий характер измерений, отсутствие механического контакта измерительного преобразователя с поверхностью полупроводниковой пластины, отсутствие необходимости какой-либо подготовки образца к измерениям, выполнение измерений при нормальных условиях окружающей среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Crossley, P. A.** Use of Test Structures and Results of Electrical Test for Silicon-On-Sapphire Integrated Circuit Processes / P. A. Crossley, W. E. Ham // J. Electron. Mat. 2, Aug. 1973. – P. 465–483.
2. **Perloff, D. S.** Four-Point Sheet Resistance Measurements of Semiconductor Doping Uniformity / D. S. Perloff, F. E. Wahl, J. Conrigan // J. Electrochem. Soc. 124, April 1977. – P. 582–590.
3. **Schroder, D. K.** Semiconductor material and device characterization / D. K. Schroder. – John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. – 790 p.
4. **Yarling, C. B.** Uniformity Mapping in Ion Implantation / C. B. Yarling, W. H. Johnson, W. A. Keenan, L. A. Larson // Solid State Technol. 34/35, 57–62, Dec. 1991; 29–32, March 1992.
5. **Rosencwaig, A.** Thermal-wave Imaging / A. Rosencwaig // Science 218, Oct. 1982 – P. 223–228.
6. **Amer, N. M.** A Novel Method for the Study of Optical Properties of Surfaces / N. M. Amer, M. A. Olmstead // Surf. Sci. 132, Sept. 1983 – P. 68–72.
7. **Rosencwaig, A.** Detection of Thermal Waves Through Optical Reflectance / A. Rosencwaig, J. Opsal, W.L. Smith, D.L. Willenborg // Appl. Phys. Lett. 46, June 1985 – P. 1013–1015.
8. **Borden, P.** Junction Depth Measurement Using Carrier Illumination / P. Borden // Characterization and Metrology For ULSI Technology 2000 (D. G. Seiler, A. C. Diebold, T. J. Shaffner, R. McDonald, W. M. Bullis, P. J. Smith, and E. M. Sekula, eds.) – Am. Inst. Phys. 550, 2001 – P. 175–180.
9. **Воробей, Р. И.** Методика определения плотности заряда на ловушках в структуре кремний-диэлектрик с использованием коронного разряда и регистрации поверхностного потенциала / Р. И. Воробей [и др.] // Приборостроение–2012: материалы 5-й междунар. науч.-техн. конф., Минск, 21–23 нояб. 2012 г. – Минск : БНТУ. – 2012. – С. 34–36.

E-mail: nil_pt@bntu.by