

## МЕТОД КОНТРОЛЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ КРЕМНИЕВЫХ ПОДЛОЖЕК ИНТЕГРАЛЬНЫХ МИКРОСХЕМ

студент гр. 113122 Ю.В. Лосякина<sup>1</sup>, ассистент А.Ю. Луговик<sup>1</sup>,  
канд. техн. наук, доцент Р.В. Фёдорцев<sup>1</sup>, канд. техн. наук, директор  
Н.С. Хомич<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Белорусский национальный технический университет

<sup>2</sup> РУП «Полимаг»

Современный уровень развития электронной промышленности предъявляет особо высокие требования к геометрической форме кремниевых подложек интегральных микросхем. Главным образом это связано с технологической необходимостью равномерного нанесения элементов посредством фотошаблона и скрайбированием (dicing) пластины.

В соответствии с SEMI стандартом, а также ГОСТ 24643-81 при контроле геометрической формы полупроводниковых пластин в обязательном порядке производят измерение следующих параметров: непараллельности плоскостей (клиновидность), неплоскостности и прогиба (изогнутость), т. е. отсчитывают отклонения формы реальной поверхности от воображаемой прилегающей плоскости, соприкасающейся с реальной поверхностью [1, 2].

Отклонение от параллельности плоскостей (непараллельность)

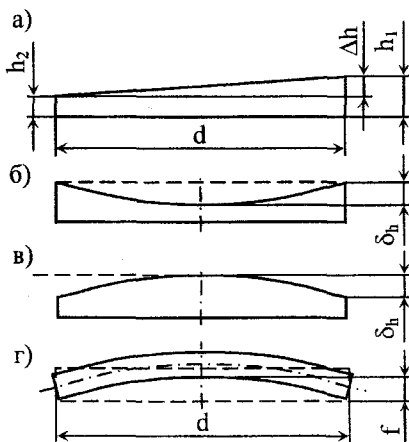
$\Delta/h$  представляет собой разность наибольшего  $h_1$  и наименьшего  $h_2$  расстояния между прилегающими плоскостями на заданной площади или диаметре  $d$  (рис. 1, а).

Рис. 1. Погрешности формы кремниевых пластин:

а – непараллельность плоскостей (клиновидность);

б, в – неплоскостность (вогнутость и выпуклость);

г – изогнутость



Отклонение от плоскости (неплоскостность)  $\delta h$  – наибольшее расстояние от точек реального профиля (или реальной поверхности) до прилегающей прямой или прилегающей плоскости (рис.1, б и в).

Изогнутость (прогиб)  $f$  – наибольшее расстояние от точек реального профиля в радиальном сечении до соответствующей стороны прилегающего профиля (рис.1, з). Прогиб в основном обусловлен разностью остаточных напряжений, возникающих на сторонах пластины после различных стадий механической или химической обработки. Для тонких пластин, шлифованных с одной и полированных с другой стороны, прогибы могут достигать 100 мкм. Пластины с односторонней обработкой, как правило, имеют вогнутость со стороны воздействия полировального инструмента.

Кроме указанных погрешностей формы, пластины могут иметь отклонения от номинального значения размера, определяющего расстояние между их поверхностями, – разнотолщинность. Разнотолщинность пластин партии должна находиться в пределах допуска, чтобы обеспечить воспроизводимость технологического процесса изготовления полупроводниковых приборов, и не должна превышать  $\pm 10$  мкм [3].

Выбор метода контроля погрешности формы кремниевых пластин зависит от стадии обработки. Высокую точность размеров и правильную геометрическую форму пластин обеспечивают правильным построением технологического процесса их изготовления, а также выполнением выборочного контроля на промежуточных операциях.

На предварительных операциях механической обработки для измерения толщины пластин, погрешность которых на данном этапе составляет примерно  $\pm 0,5$  мкм, а также для определения клиновидности подложек, представляющей собой наибольшую разность значений в диаметрально противоположных точках, используют индикатор или оптический длинномер, например ИЗВ-2.

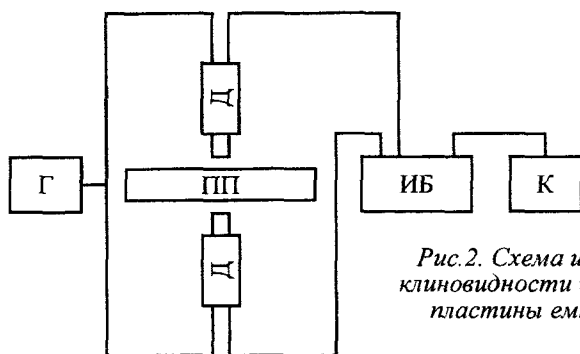
Окончательно обработанные пластины для предотвращения повреждения поверхности обычно контролируют бесконтактными методами, принцип действия которых основан на взаимодействии детали с электромагнитным излучением.

Прогиб пластин можно определять бесконтактным способом, например, с помощью устройства, состоящего из лекальной линейки, опоры, осветителя и микроскопа. Изогнутая поверхность пла-

стины, опирающейся одновременно на лекальную линейку, опору и эталонное ребро лекальной линейки, образует щель, через которую проходит световой поток из осветителя. Освещенная щель хорошо видна в микроскоп, а её высота в любом сечении может быть измерена с помощью окуляр-микрометра МОВ 1-15<sup>х</sup> с точностью до 1,5 мкм. Таким образом, высота щели представляет собой прогиб пластины в соответствующем сечении [3].

Контроль толщины, клиновидности и прогиба пластин можно также осуществить бесконтактным ёмкостным методом по схеме, представленной на рис.2 [3]. Полупроводниковую пластину ПП помещают между сенсорными поверхностями двух ёмкостных датчиков Д на оправке с тремя шариковыми опорами и перемещают (сканируют) в плоскости, перпендикулярной оси датчиков. Переменный сигнал на датчики поступает от генератора Г. Изменение воздушного зазора между сенсорными поверхностями датчиков и контролируемой пластиной обратно пропорционально его ёмкости, что приводит к изменению тока сигнала от датчиков. Сигнал поступает в измерительный блок ИБ и классификатор К, обрабатывается и выводится на индикатор, который показывает числовое значение толщины, клиновидности или прогиба. Точность измерения составляет  $\pm 2,5$  мкм в диапазоне толщин 0...999,9 мкм и прогибов 0...250 мкм. Минимальное показание индикатора 0,1 мкм.

Преимуществом ёмкостного метода по сравнению с контакт-



*Рис.2. Схема измерения толщины, клиновидности и прогиба кремниевой пластины ёмкостным методом*

ными является его универсальность (можно определять три геометрических параметра с одного установка контролируемой пластины), высокая производительность и простота. Информацию о форме изогнутой поверхности кремниевых подложек (выпуклая или

вогнутая) можно получить, записывая сигнал во времени и автоматизировав перемещение оправки.

Для измерения неплоскостности окончательно обработанных пластин, закрепленных на вакуумном столике, используют интерферометры с лазерным источником излучений. Лазерный когерентный пучок позволяет получить необходимый контраст интерференционной картины.

Однако в ходе исследований, проведенных в работах [4, 5] замечено, что ёмкостной и индукционным методы контроля в области своего применения имеют ряд ограничений. Ёмкостной метод не позволяет измерять удельное сопротивление высоколегированных полупроводниковых пластин, а индукционный – низколегированных. Методы измерения в обоих случаях являются косвенными и имеют соответствующие погрешности. Основным средством измерения считается мост переменного тока, в плечо которого включается измеряемый объект [5], причём образец измеряемого материала должен иметь правильную геометрическую форму. Удельное сопротивление  $\rho$  полупроводниковой пластины связано с добротностью колебательного контура  $\Delta Q = f(\rho)$ , а градуировочная характеристика  $\Delta Q / Q_0 = \varphi(\rho)$ , где  $Q_0$  – нормированная добротность. Индуктивный метод связан с введением в катушку индуктивности образца полупроводника. Модификация индуктивного метода – беззондовый метод Фистуля–Оржевского, реализуемый с помощью тороида из магнитомягкого материала со щелью и вставкой из проводящего материала (медь, латунь) [4]. Магнитное поле выводится через щель и взаимодействует с полупроводниковым материалом. Погрешность метода возрастает при возникновении краевого эффекта. Применение известного резонаторного СВЧ метода требует компенсации погрешностей и линеаризации характеристики преобразователя. Погрешности указанных методов превышают погрешности известных зондовых контактных методов.

Фотоинжекционный метод связан с механизмом взаимодействия излучения оптимальной длины волны с полупроводниковым материалом. Электропроводимость (фотопроводимость) зависит от концентрации электронов и дырок и подвижностей основных и неосновных носителей. Для кремниевых электронных легированных фосфором (КЭФ) пластин установлена связь оптических параметров и интенсивности излучения [5].

Экспериментальная установка (рис.3) для контроля толщины кремниевой пластины состоит из металлического штатива 1 с предметным столиком 2, на котором расположена кремниевая пластина 9, отделённая тонкой изолирующей прокладкой 8. В центре столика закреплён фотодиод 3 излучающий в диапазоне длин волн  $0,9...1,0$  мкм. В верхней части штатива расположен полый металлический стержень 4 с закреплённым внутри него приёмником излучения 5, который может вертикально перемещаться по направляющей втулке 6. С целью повышения точности измерения и помехоустойчивости к влиянию внешних воздействий приёмник излучения внутри стержня надёжно экранирован. Настройка фотоприёмника 5 на заданное расстояние относительно фотодиода 3 осуществляется перемещением стержня посредством микрометрического

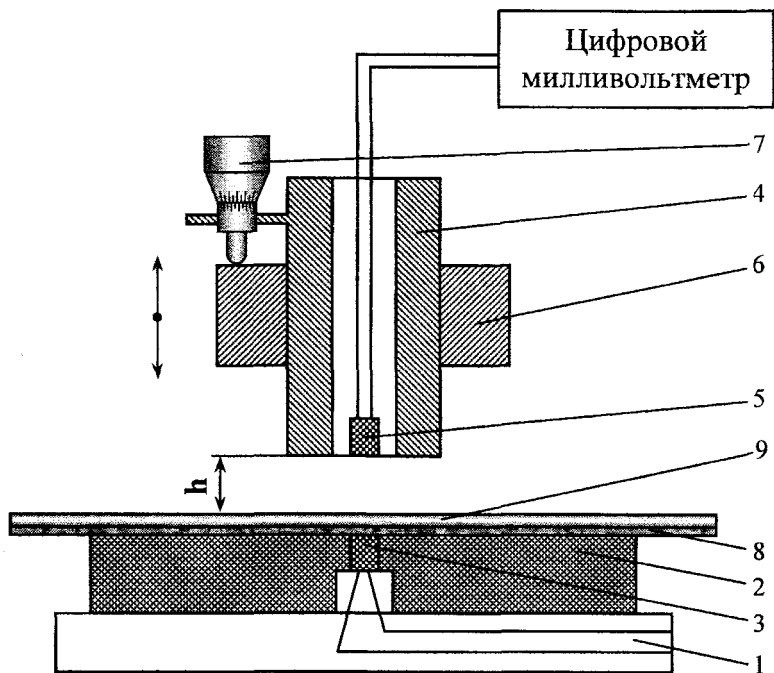


Рис.3. Схема устройства для контроля параметров полупроводниковых пластин фотоинжекционным методом:

1 – металлический штатив; 2 – предметный столик; 3 – фотодиод; 4 – полый металлический стержень; 5 – приёмник излучения; 6 – направляющая втулка; 7 – микрометрический винт; 8 – изолирующая прокладка; 9 – полупроводниковая кремниевая пластина

ского винта с ценой деления 1 мкм. Диапазон перемещения приёмника излучения 30 мм. Приёмник излучения подключён к цифровому милливольтметру экранированными проводами.

Перед началом измерений производится настройка экспериментальной установки по рабочим эталонам, калиброванным по удельному сопротивлению  $\rho$  и толщине  $\delta$  пластин двух типов: кремний дырочный, легированный фосфором (КЭФ), кремний дырочный, легированный бором (КДБ). Диаметр пластин 150 мм. Расстояние от подложки до приёмника излучения  $h = 2$  мм. Выходной сигнал  $U_{\text{вых}}$  приёмника излучения при отсутствии пластины составляет 490 мВ (табл.1) [6].

Таблица 1

Метрологические характеристики пластин

Тип подложки	КЭФ					КДБ	
	2,0	2,7	3,7	3,9	5,3	10	12
$\rho$ , Ом·см	2,0	2,7	3,7	3,9	5,3	10	12
$U_1$ , мВ	311,9	307,0	301,0	299,3	293,7	283,5	280,4

Интенсивность прошедшего излучения зависит от коэффициента пропускания  $T$  пластины в соответствии с критерием  $K$ :

$$K = T = U_{\text{вых}} / (J \cdot \delta \cdot \rho)$$

где  $J$  – плотность тока светоизлучающего диода, определяющая силу света.

Достоверная вероятность результатов измерений составляет 95 %. Это обеспечивается за счёт введения поправки  $\Delta U_{\text{вых}}$  на измерение толщины  $\Delta\delta$  по сравнению с рабочим эталоном [6].

На рис.4 представлены результаты измерения толщины кремниевой подложки диаметром 150 мм, выполненные в лаборатории станков и технологии производства (WZL RWTH, г. Ахен, Германия) по заказу Фраунгоферского института промышленных технологий (IPT) после финишной операции магнитно-абразивного полирования (МАП) на станке мод. 3905, разработанного РУП «Полимаг», Беларусь.

Была проведена серия измерений для 5 пластин, имеющих базовый и дополнительный срез в соответствии с SEMI стандартом. На поверхности каждой кремниевой подложки определённым образом выбрались 33 контрольные точки. Среднее значение толщины пластины составило  $\text{AvgThk} = 470,32$  мкм. Общее изменение толщины  $\text{TTV} = 3,42$  мкм. Максимальный прогиб  $\text{MaxBow} = 4,9$  мкм.

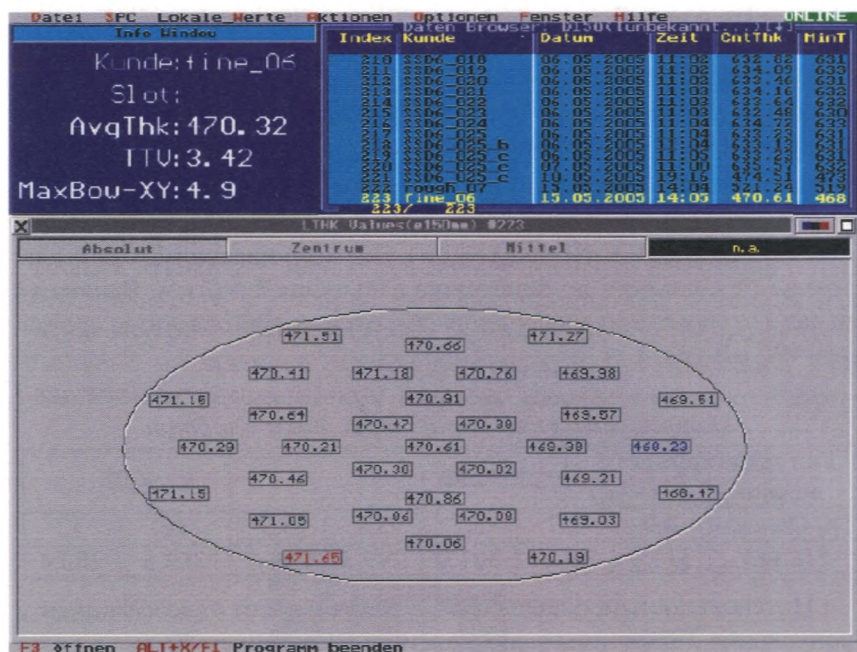


Рис.4. Фрагмент рабочего окна программы с результатами измерений толщины кремниевой подложки (красным и синим цветом, отмечены соответственно максимальное и минимальное значение параметра)

### Использованные источники

1. [www.downloads.semi.org/PUBS/SEMIPUBS.NSF/webstandardsAS TM!OpenView](http://www.downloads.semi.org/PUBS/SEMIPUBS.NSF/webstandardsAS TM!OpenView) Semiconductor Equipment and Materials International (SEMI standards). Silicon Materials & Process Control (transferred from ASTM). 2005.
2. ГОСТ24643-81. Основные нормы взаимозаменяемости. Допуски формы и расположения поверхностей. Числовые значения.
3. Механическая обработка полупроводниковых материалов / О.И. Бочкин [и др.]. – М.: Высшая школа, 1983. – 112 с.
4. Фистуль, В.И. Введение в физику полупроводников. – М.: Высшая школа, 1975.
5. Воробьев, Ю.В., Добровольский, В.Н., Стриха, В.И. Методы исследования полупроводников. – Киев: Вища школа, 1988.
6. Никулин, В.Б., Ковалев, В.В. Фотоинжекционный метод контроля параметров полупроводниковых пластин // Датчики и системы. – 2001. – №9. – С. 31 – 33.