

Ю. Г. ДОБРОВОЛЬСКИЙ

Украина, г. Черновцы, ЦКБ «Ритм»

Дата поступления в редакцию
26.04 1999 г.

Оппонент д. ф.-м. н. П. Н. ГОРЛЕЙ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭФФЕКТА КИРЛИАН ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛАСТИН

Метод и оборудование для его реализации позволяют проводить контроль полупроводниковой пластины и отдельных ее участков.

The method and equipment for its realization allow to carry out control of semiconductor wafer and individual its sites.

Газоразрядная визуализация, или эффект Кирлиан, заключается в получении изображений поверхности различных объектов в электромагнитных полях высокой напряженности [1, 2]. Метод имеет достаточно широкое применение в исследованиях качества различных поверхностей в приборостроении [3, 4]. Физика явления достаточно хорошо изучена и описана [1, 2, 5]. В предлагаемой работе рассматриваются вопросы использования эффекта Кирлиан для контроля качества полупроводниковых пластин.

Для исследования характеристик полупроводниковых пластин важное значение имеют два аспекта — неразрушающий характер и максимальная простота при надежности контроля. Методика исследований и оборудование должны обеспечить стопроцентный контроль и не вызывать существенного удорожания изделий.

Для газоразрядной визуализации (ГРВ) используется три различных вида газового разряда: тлеющий разряд особого вида при пониженном давлении газа (т. н. вакуумная ГРВ), «скользящий» разряд по поверхности диэлектрика и разряд лавинного типа, развивающийся в узком промежутке, ограниченном диэлектриком. Вакуумная ГРВ требует сложного оборудования, лавинная — может приводить к формированию областей разупорядочения и, впоследствии, к дефектам в полупроводнике. Исходя из этого был выбран метод поверхностной ГРВ.

Для решения поставленных задач был разработан и использован ряд устройств на основе комбинации возможностей оптических систем и оптоэлектроники.

Обычно для фиксации ГРВ используются либо фотопластины (фотопленка), либо фотоэлектронные умножители [5, с. 91]. Для активного анализа качества полу-

проводниковых пластин такие способы фиксации ГРВ не приемлемы, поскольку требуют в первом случае больших затрат, а во втором — увеличивают энергоемкость процесса за счет использования фотоэлектронных умножителей.

В случае поверхностной ГРВ [6] существенное значение имеет ширина разрядного промежутка, в котором происходит газовый разряд. Из [6] также следует, что наиболее ясное изображение неоднородностей на фотопластине получается при величине разрядного промежутка от 40 мкм до 3,2 мм и амплитудах напряжений от 6 до 13,5 кВ. В нашем случае для исследования качества полупроводниковых пластин применялся блокинг-генератор, работающий на частоте 20 ± 5 кГц, с амплитудой высокочастотного напряжения до 5 кВ. Разрядный промежуток был выполнен из оптического стекла. При таких величинах напряжений и материале диэлектрика разрядного промежутка его толщина должна отличаться от приведенной в [6]. В связи с этим оптимальная толщина разрядного промежутка (d) при амплитуде напряжения 5 кВ получена экспериментальным путем — измерением мощности оптического излучения (P), генерируемого при пробое разрядного промежутка.

Как показали проведенные исследования, напряженность пробоя, которая является источником свечения Кирлиан-эффекта, достигалась в диапазоне толщины разрядного промежутка от 0,1 до 0,8 мм. Измерение мощности оптического излучения производилось измерителем «Кварц-01» (производство ЦКБ «Ритм») в разрядных промежутках толщиной от 0,05 до 2 мм в отсутствие освещенности (мощность фоновой засветки составляла 0,4 мкВт). Результаты исследований приведены на рис. 1.

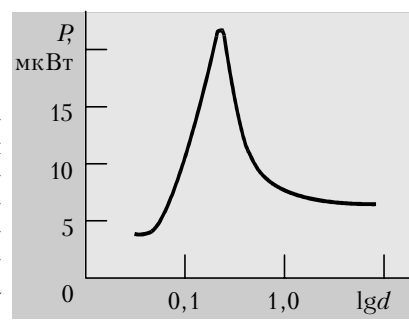


Рис. 1. Зависимость мощности оптического излучения (P) при пробое разрядного промежутка от толщины промежутка (d , мм)

В исследованиях использовался высоковольтный преобразователь, состоящий из генератора и трансформатора. Первичная обмотка высоковольтного трансформатора включена в коллекторную цепь транзистора,

Автор выражает благодарность за содействие в подготовке работы А. А. Ащеулову, В. Н. Годованюку, М. П. Биксею.

со вторичной обмотки и ее выводов снимается переменное напряжение, которое подается на умножитель напряжения. Выпрямитель напряжения от 1 до 5 кВ собран по схеме пятикратного увеличения напряжения.

Питание высоковольтного преобразователя осуществляется напряжением постоянного тока 24 В. Выходной сигнал генератора регулировался в диапазоне от 1 до 5 кВ с длительностью импульсов 0,1–5 с, что позволяет в итоге регулировать яркость свечения (и увеличить вероятность обнаружения неявно выраженных неоднородных областей с аномальным удельным сопротивлением).

Исследования построены на основе того, что области неоднородности и дефекты, имеющиеся на поверхности и в объеме полупроводниковой пластины, имеют собственное удельное сопротивление, отличное от удельного сопротивления чистого (однородного) полупроводникового материала. В условиях наложения высокочастотного электрического поля большой амплитуды эти области должны светиться ярче, если их сопротивление выше сопротивления чистого (однородного) материала. Если же их сопротивление меньше сопротивления чистого материала — они должны светиться менее ярко (излучают меньшую оптическую мощность), чем остальная поверхность полупроводниковой пластины.

Исследования проводились на установке, блок-схема которой приведена на **рис. 2**. Потребляемая мощность установки составляет 40 Вт. Габаритные размеры всего комплекса позволяют размещать его на половине обычного стола.

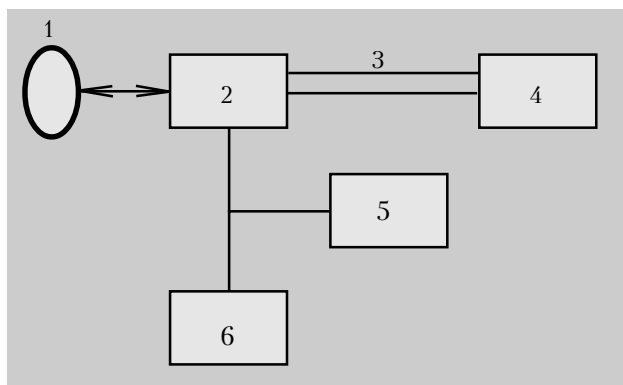


Рис. 2. Блок-схема установки:

1 — кремниевая пластина; 2 — разрядно-оптическое устройство; 3 — световод; 4 — измеритель мощности оптического излучения; 5 — прерыватель импульсов; 6 — генератор импульсов

В зависимости от характера анализа состояния поверхности полупроводниковых пластин (общего или дифференциального) применялись два варианта разрядно-оптических устройств.

Для *общего* (интегрального) анализа применялось разрядно-оптическое устройство [4], показанное на **рис. 3**. Устройство содержит оптическую систему в виде фокона (5), входным торцом которого является жидкий токопроводящий электрод (2), оптически прозрачный в выбранном диапазоне длин волн оптического излучения, диаметром не менее диаметра исследуемой пластины, отделенный от окружающей среды стеклянным разрядным промежутком (3). Выходной торец фокона (6) стыкуется со световодом (7). Сигнал с генератора напряжения

подается на жидкий электрод через контакт (4). Вся конструкция собрана в корпусе (1).

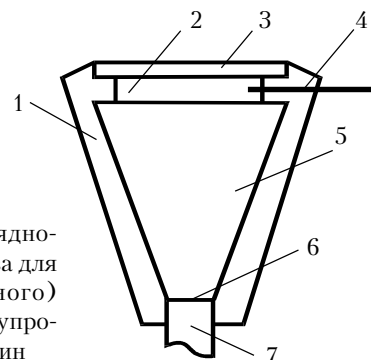


Рис. 3. Схема разрядно-оптического устройства для общего (интегрального) анализа качества полупроводниковых пластин

Предварительная калибровка установки осуществляется на эталонной пластине, которая заведомо не имеет дефектов. Исследуемая пластина размещается на стекле разрядного промежутка, при этом фиксируется оптическая мощность, генерируемая ею в условиях наложенного поля, которая затем сравнивается с эталонной. Погрешность измерений определяется точностью измерителя мощности оптического излучения и составляет $\pm 15\%$ с доверительной вероятностью $P=0,95$. Длительность контроля — несколько секунд.

Дифференцированный анализ качества пластины, т. е. получение информации с различных ее участков, проводился с помощью устройства, показанного на **рис. 4**. Устройство разрабатывалось для медицинских исследований (поиск, воздействие и снятие оптической информации с точек акупунктуры) и, как показали исследования, успешно применено в нашем

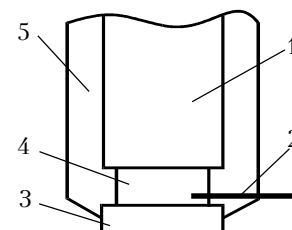


Рис. 4. Схема устройства для дифференциального анализа качества пластин

случае. Его действие основано на локальном сканировании поверхности исследуемого объекта высокочастотным электрическим полем большой амплитуды с определенным шагом.

Устройство, собранное в корпусе (5), состоит из световодного кабеля (1), жидкого токопроводящего электрода (4), разрядного промежутка (3). Высокочастотное напряжение подается на жидкий электрод через контакт (2). Входное окно разрядно-оптического устройства должно быть минимально (в нашем случае — 7 мм).

Дефектная область полупроводниковой пластины по достижении ее сканирующим высокочастотным электрическим полем излучает большую (или меньшую) оптическую мощность по сравнению с фоновой засветкой, генерируемой однородной поверхностью пластины, что фиксируется измерителем мощности оптического излучения. Обнаруженная неоднородность отмечается маркером (или отмечаются ее

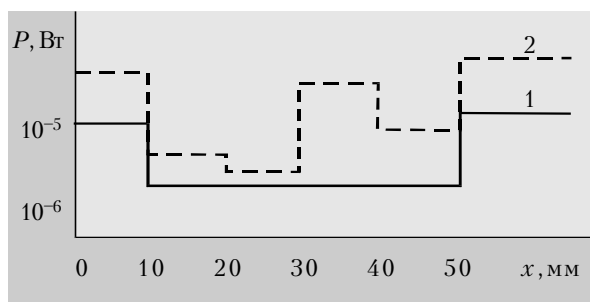


Рис. 5. Зависимости излучаемой оптической мощности от координат на кремниевых пластинах:
1 — эталонная; 2 — дефектная

координаты с помощью координатно-цифрового микроскопа). Длительность контроля — несколько минут.

Если мощность оптического излучения исследуемой пластины превышает мощность излучения эталонной пластины более чем на величину точности измерений ($\pm 15\%$), такая пластина отбраковывается. В дальнейшем природа дефекта может быть установлена другими методами. В случае небольшой площади дефектов пластина может быть частично использована для изготовления приборов малых габаритных размеров.

Исследованиям подвергались кремниевые пластины марки КАД45/АИЖ диаметром 60 мм с удельным сопротивлением 1000–2500 Ом·см n -типа ориентации (100). Исследования проводились на установке, приведенной на рис. 2.

Размер сканирующего зонда определялся площадью контакта генерируемого поля с поверхностью пластины, которая, по нашей оценке, соответствует сумме диаметра входного окна разрядно-оптического устройства (в данном случае 7 мм) и ширины светящегося пространства вокруг него (около 2,5 мм). Сканирование производилось с шагом 12 мм.

На рис. 5 представлены зависимости излучаемой оптической мощности от координат на эталонной и дефектной пластинах при напряжении на разрядном промежутке 5 кВ. Из рисунка хорошо видно, что предложенный метод дает возможность с большой точностью определять дефектные области контролируемой пластины как в центральной ее части, так и на периферии. Это позволяет отбраковывать пластины до изготовления приборов или выбрать, в случае необходимости, только участки, пригодные для использования.

Разработан также прибор, объединяющий в себе матричный фотодиод и разрядно-оптическое устройство, схематическое изображение которого приведено на рис. 6.

Прибор представляет собой собственно фотодиод, входное окно которого выполнено в виде разрядно-оптического устройства. В его состав входит разрядный промежуток в виде плоско-параллельной пластинки толщиной 0,1–0,8 мм, оптически прозрачной в выбранном диапазоне длин волн (2), оптически прозрачный электрод из токопроводящей жидкости (1), контакт, передающий на прозрачный электрод высокое напряжение (4), оптическая система, выполненная в виде волоконно-оптической шайбы (3), кристалл фотодиода (8), расположенный на подложке (7), которая монтируется в диэлектрическом

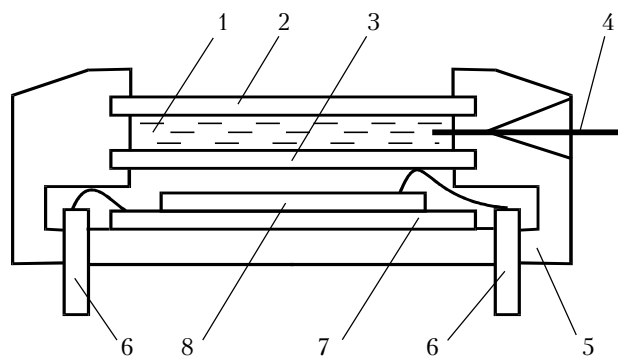


Рис. 6. Фотодиод с разрядно-оптическим устройством

корпусе (5). Снятие электрических сигналов, питание фотодиода и его заземление производятся с помощью выводов (6). Подача токопроводящей жидкости осуществляется с помощью контакта (4), в качестве которого используется игла шприца.

При включении высокого импульсного напряжения в разрядном промежутке появляется изображение объекта, обусловленное эффектом Кирлиан, которое передается оптической системой на регистрирующий фотодиод. Топология кристалла фотодиода позволяет дифференцированно преобразовывать оптические сигналы различной мощности с различных участков поверхности объекта с помощью секторной или мозаичной топологии. Форма топологии кристалла фотодиода выбирается в зависимости от ожидаемой картины излучения (кольцевое свечение или разнородная засветка поверхности).

* * *

Таким образом, использование предложенного метода неразрушающего контроля полупроводниковых пластин и разработанного оборудования приводит к увеличению выхода годных изделий за счет устранения потенциально ненадежных пластин перед началом технологических операций.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Адаменко В. Г. Исследование механизма формирования изображений, получаемых с помощью высокочастотного электрического разряда: Автореф. дис... канд. физ.-мат. наук. — Минск, 1974.
2. Баньковский Н. Г., Коротков К. Г. Изучение физики процесса газоразрядной визуализации («Эффект Кирлиан») // Письма в ЖТФ. — 1982. — Т. 8, № 4. — С. 216–220.
3. А. с. 1080113 СССР. Устройство для высокочастотной фотографии электрических неоднородностей объектов / Н. Н. Зацепин, Н. Е. Домрод, В. В. Кожаринов. — Б. И. — 1984. — № 10.
4. А. с. 1522142 СССР. Разрядно-оптическое устройство / Ю. Г. Добровольский, И. Я. Милованов, Р. И. Плащенко. — Б.И. — 1989. — № 12.
5. Кожаринов В. А. Электрогазоразрядный метод визуализации. — Минск : Наука и техника, 1986.
6. Коротков К. Г., Хмыров С. В. Фотографирование поверхности твердого тела посредством газового разряда при атмосферном давлении // Журнал науч. и прикладн. фотографии и кинематографии. — 1982. — Т. 27, № 2. — С. 131–134.