

УДК 65.011.56

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА КОНТРОЛЯ КЕРАМИЧЕСКИХ ПОДЛОЖЕК

Глеч Л.А., Жук С.С., Сидорович Е.С.

Рассматривается возможность уменьшения доли брака на заключительных стадиях изготовления интегральных микросхем за счет автоматизации технологического контроля керамических подложек.

Интегральные микросхемы (ИС) являются доминирующими электронными компонентами современных средств вычислительной техники, автоматики, радиоэлектроники, космической и военной техники. Производство ИС характеризуется значительным процентом брака на заключительных стадиях изготовления, когда осуществляется контроль электрических параметров прибора. Приблизительно половина брака, выявляемого при выходном контроле ИС, вызвана браком и отклонениями, допущенными в предшествующих технологических операциях. При соответствующем послеоперационном контроле, начинающемся с заготовительных операций, 90% указанного брака может быть выявлено до заключительных этапов изготовления ИС. Чем на более ранней стадии производства будет выявлен брак, тем меньшим будет непроизводительный расход трудовых и материальных ресурсов, износ дорогостоящего оборудования. Важно, чтобы технологический контроль осуществлялся быстро и являлся количественным, что возможно обеспечить применением автоматизированных средств контроля.

Для изготовления качественных ИС необходимо иметь качественные подложки. Подложки характеризуются рядом геометрических параметров, наиболее ответственными среди которых являются толщина, неплоскостность, прогиб и т.д. Эти параметры не должны выходить за пределы, установленные технической документацией. Так, например, толщина подложек колеблется в пределах 200...900 мкм. Измеряют ее с двух сторон и в центре подложки. За толщину принимается минимальное измеренное значение. Неплоскостность – это наибольшее расстояние от точек реальной поверхности подложки до идеально плоской поверхности. Для определения неплоскостности необходимо произвести измерения в ряде точек поверхности в двух взаимно перпендикулярных направлениях с заданной дискретностью шага. Прогиб подложек определяется по вертикальному смещению в центре. Измерения этих параметров могут быть как контактными, так и бесконтактными. Недостатком контактных методов являются трудности автоматизации процесса измерений и наличие сравнительно большого измерительного усилия, приводящего к созданию царапин и проколов на поверхности измеряемых подложек. В связи с этим в последние годы интенсивно развиваются неразрушающие и бесконтактные средства

измерений. Среди средств, пригодных для измерения геометрических параметров подложек в цеховых условиях, следует выделить пневматические и оптические, которые обладают высокой точностью и не изнашивают измеряемых поверхностей. Однако известные пневмооптические приборы, обладая высокой точностью, трудно поддаются автоматизации и имеют довольно большое время срабатывания. Для устранения указанных недостатков целесообразно сочетание пневматического и электронного принципов действия [1]. Применение упругого чувствительного элемента повышенной жесткости позволяет резко снизить погрешности, обусловленные его упругими свойствами, и уменьшить объем измерительной камеры, повысив тем самым быстродействие. Электронная часть повышает общую чувствительность средства измерений до необходимого уровня, не снижая быстродействия и не увеличивая существенно суммарную погрешность прибора. Таким образом, сочетание пневматического и электронного принципов действия позволяет сохранить достоинства каждого из них и получить качественно новое средство измерений. Корпус такого преобразователя состоит из пневматической и индуктивной частей, жестко связанных между собой и герметизированных.

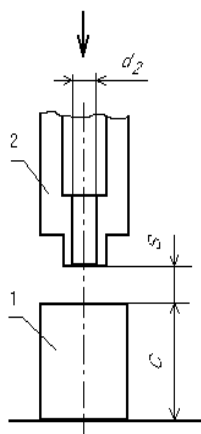


Рисунок 1 – Измерение по способу зазоров

В индуктивной части установлен серийно выпускаемый индуктивный преобразователь модели БВ-6067, измерительный наконечник которого контактирует с центром плоской металлической мембраны, закрепленной в пневматической части корпуса преобразователя. Данный измеритель работает по способу измерения зазоров, когда выходное (минимальное) сечение образуется в зазоре S (измерительный зазор) между торцом выходного (измерительного) сопла 2 с диаметром выходного отверстия (канала) d_2 и поверхностью измеряемой детали 1 (рисунок 1). Если канал выходного отверстия измерительного сопла имеет цилиндрическую форму, то площадь выходного сечения $F_2 = \pi d_2 S$. Расход воздуха будет зависеть от величины зазора S только при условии, что площадь выходного сечения, образуемого этим зазором, меньше площади проходного сечения отверстия сопла:

$$\pi d_2 S < \pi d_2^2 / 4 \quad \text{или} \quad S < d_2 / 4.$$

При нарушении этого условия расход будет определяться только площадью проходного сечения канала измерительного сопла. Измерительная оснастка при этом выполняется таким образом, чтобы величина измерительного зазора S у измерительного сопла 2 зависела только от величины измеряемого размера C контролируемой детали 1, благодаря чему расход

воздуха зависит только от размера C .

Пневмоиндуктивные измерители становятся более гибкими и универсальными: с их помощью можно получать аналоговый и дискретный выходной сигналы, осуществлять запись и печать результатов измерений при помощи стандартных вторичных устройств.

Контроль состояния поверхности подложек можно осуществлять также эллипсометрическим методом, основанным на анализе изменения поляризации пучка поляризованного монохроматического света при его косом падении на исследуемую поверхность. Абсолютные значения параметров поверхности могут быть найдены путем гашения в эллипсометрической картине луча, отраженного от дефектоскопируемых участков поверхности.

Параметры поляризации отраженного света определяются как характеристиками оптического носителя возбуждения, так и оптическими свойствами среды. Связь между эллипсометрическими параметрами Ψ и Δ и свойствами объекта описывается основным уравнением эллипсометрии [2]:

$$\operatorname{tg} \Psi \exp(i \Delta) = \tilde{R}_p / \tilde{R}_s.$$

Здесь i – мнимая единица; $\tilde{R}_p$ и $\tilde{R}_s$ – обобщенные коэффициенты отражения электромагнитной волны исследуемой поверхности; $\Psi = \arctg(A_p/A_s)$, где A_p и A_s – изменения амплитуд составляющих электрического вектора волны; $\Delta = \delta_p - \delta_s$, где δ_p и δ_s – изменения составляющих фаз электрического вектора светового потока.

Процесс измерения заключается в гашении луча света, отраженного от исследуемой поверхности, и отсчете углов поворота лимбов оптических элементов: анализатора и поляризатора. Зная эти углы, производят расчет поляризационных параметров Ψ и Δ , а затем определяют необходимые параметры подложек.

Как при эллипсометрическом методе измерений, так и при использовании пневмоиндуктивных преобразователей, необходимо обеспечивать надежное прилегание измеряемой подложки к базовой плоскости. На практике это условие выполняется за счет применения вакуумного прижима.

Высокая точность эллипсометрического метода измерения позволяет совместить в пределах одной измерительной установки операции контроля толщины, прогиба и неплоскостности. Для этого базовая плоскость заменяется автоматизированным координатным столом, который перемещает подложки по определенной программе.

В связи с жесткостью задания допусков на контролируемые параметры в микроэлектронном производстве требования к производственному контрольно-измерительному оборудованию задаются еще жестче. Современному уровню производства ИС удовлетворяет погрешность измерения линейных размеров не больше $\pm(3...5)\%$. Покажем, что предлагаемые

способы контроля подложек обеспечивают требуемую точность на примере пневмоиндуктивного измерителя.

Величина погрешности пневмоиндуктивного измерителя определяется формулой

$$\Delta = \frac{1,5}{K} \text{ мкм},$$

где K – значение передаточного отношения, зависящее от диаметра d_1 входного сопла, d_2 – диаметра отверстия выходного (измерительного сопла), z – числа измерительных сопел и ΔS – величины изменения суммарного зазора в процессе измерения.

Величина ΔS рассчитывается по формуле:

$$\Delta S = \delta(1 + m) + \delta S \cdot z,$$

где δ – допуск на измеряемый параметр, мкм; m – величина увеличения поля допуска за его границами, в пределах которой надо производить отсчет по шкале; δS – неточность установки зазора в измерительной оснастке у каждого сопла.

В большинстве случаев достаточно для выбранных значений d_2 , z и ΔS выбрать значение d_1 , при котором $\Delta S \leq l$, где l – величина используемого линейного участка характеристики средства измерения, нелинейность которого не превышает 1...3%. В этом случае достигается наивысшая точность измерения.

Пример. Требуется проконтролировать керамическую подложку толщиной 2 мм и допуском $\delta = 6$ мкм с помощью описанного выше пневмоиндуктивного измерителя. Задаваясь величиной выхода за границу поля допуска $m = 0,3$ (по 1,5 за каждую границу), средним значением $\delta S = 3$ мкм неточности установки измерительного сопла диаметром $d_2 = 2$ мм и числом сопел $z = 3$, необходимо рассчитать величину ΔS :

$$\Delta S = 6 + (1 + 0,3) + 3 \cdot 3 = 16,8 \text{ мкм}.$$

С помощью таблицы 12 [1] подбираются значения d_1 входного сопла, при котором величина ΔS меньше прямолинейного участка l характеристики при нелинейности 1%, а также значения передаточного отношения K . С помощью таблицы 13 [1] и графика амплитудно-частотных характеристик определяется время контроля t . Результаты расчетов сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты расчета погрешности пневмоиндуктивного измерителя и времени контроля

Диаметр отверстия входного сопла d_1 , мм	0,3	0,5	0,6
Прямолинейный участок характеристики l , мкм	10	16	16
Передаточное отношение K	10,9	6,9	6,1
Величина погрешности пневмоиндуктивного измерителя Δ , мкм	0,14	0,22	0,25

Процентное соотношение величины Δ и допуска δ , %	2,3	3,6	4,2
Время контроля t , с	16,1	10,7	5,8

По результатам таблицы 1 построены графики зависимостей погрешности пневмоиндуктивного измерителя и времени контроля от диаметра входного сопла (рисунки 2 и 3).

На основании рассмотренного выше можно сделать вывод, что погрешность измерения с помощью предложенного измерителя не превышает

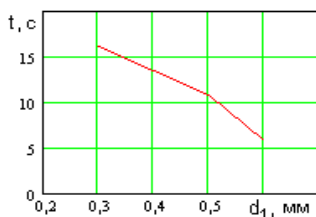


Рисунок 2 – График зависимости погрешности пневмоиндуктивного измерителя Δ от диаметра входного сопла d_1

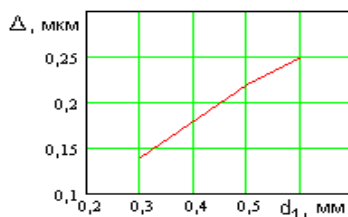


Рисунок 3 – График зависимости времени контроля t от диаметра входного сопла d_1

5%. Точность повышается с уменьшением диаметра входного сопла, но производительность при этом падает. Поэтому параметры измерительной оснастки следует выбирать с учетом поставленных задач и конкретных условий.

Библиография

1 Высоцкий А.В. Пневматические средства измерений линейных величин в машиностроении / А.В. Высоцкий, А.П. Курочкин. — М.: Машиностроение, 1975. — 157 с.

2 Лопухин В.А. Автоматизация визуального технологического контроля в электронном приборостроении / В.А. Лопухин, А.С. Гурылев. — Л.: Машиностроение, 1987. — 287 с.

Поступила в редакцию 29.10.1999 г.