

## Применение приборов ИНТРОМЕТ для контроля качества металлизации отверстий печатных плат

Сухоруков В.В., Хоменко С.В.

### The Use of "INTROMET" Device for the Quality Inspection of the Metallizing of Through-holes of PCBs.

Sukhorukov V.V., Khomenko S.V.

*Determination of the thickness of copper coatings in the through-holes is one of necessary steps in the manufacture of PCBs, since considerable part of rejects and later failures are related with inadequate quality of copper coatings inside the through-holes. Well-known method of microsections is suitable for only selective control due to its destructive nature (Fig. 1). Apart from that, it is expensive and laborous. There are also Caviderm CD-8 and CD-10 devices (Veeco Instrument Corp., UPA Technology Division, USA) based on the measurement of electrical resistance (Fig.2). Major disadvantages of these instruments: effects of contact phenomena on the results of the measurements and the impossibility of the measurements prior to etching and the need to get access to both sides of a hole. Thickness-measuring devices "INTROMET" have following advantages in comparison with other types of instruments:*

- Easy adjustment — it is necessary to introduce a sensor into the hole and to read the numerical values of the indicator expressed directly in micrometers;
- The inspection of the coatings is possible at every stage of the process — from the initial stage of copper plating (directly at a plating tank) and also before and after the deposition of metal-resist coatings. This allows to reduce the copper-deposition time and energy consumption under the conditions of guaranteed quality of copper deposits;
- It is possible to make not only copper-plate thickness measurements, but also to detect failures such as cracks in the copper layer;

Задача контроля толщины медного слоя, полученного при металлизации отверстий печатных плат (ПП), является очень актуальной. Значительная доля брака при производстве ПП и отказов при их эксплуатации приходится именно на металлизированные отверстия (МО), используемые для установки элементов или для соединения токопроводящих дорожек в различных слоях. Типичные виды возможных дефектов покрытий в МО перечислены в [1]: слишком тонкий слой меди, из-за

*- There is no need to destroy the board by cutting the specimen for the measurements, which is unavoidable, if electrical resistance is to be measured;*

*- The access to one side of the boards is sufficient. The heart of the device is an eddy current sensor of a transformer type (US Pat. 5, 600, 240) both coils of which are placed inside a steel pipe and are located along with its axis (Fig.3). The principle of its functioning is illustrated in Figs.4 and 5. Technical characteristics of "INTROMET" tester are given in the Table. The instruments are shown in Fig.7. Most advanced modification ITM-MP has been developed by INTRON PLUS according to the order of Veeco Instrument Corp., UPA Technology Division and was first exposed at the international exhibition "Control 94" in Chicago in 1994 (Fig.6). This device is capable to eliminate the interfering effects of changing ambient temperature on the results of the measurements. The effect of the hole diameter is also taken into account automatically, and the values of the board thickness and the conductivity of deposited copper can be introduced into memory of the device. The data obtained may be monitored to the external computer/printer through the interface RS-232. It is also possible to calibrate ITM-MP tester on the basis of the specimens of a customer. It is necessary for this purpose to use a set of PCBs with various thickness of copper layer (4 to 6 specimens representing the whole range of thickness). Some practical experience for the industrial use of the device is described.*

чего возможен перегрев током, разрушения при пайке, возникновение радиальных трещин; слишком толстый слой меди, из-за чего выводы конструктивных элементов не входят в отверстия, покрытие может отслаиваться от стенок отверстия (в этом случае будет также перерасход меди); отрыв контактных площадок; дефекты, возникающие в процессе осаждения меди из-за плохой подготовки отверстия (выступающие стекловолокна, загрязнения при сверлении и др.); трещины, воз-

## Гальванотехника и обработка поверхности

никающие при термических нагрузках; выделение газа при пайке, что приводит к непропаю и (или) к разрушению МО; неполная протравка перед нанесением гальванического покрытия, особенно в МПП, что приводит к плохому соединению внутренних слоев.

Для контроля металлизированных отверстий ПП применяют различные методы [2]. Метод микрошлифов, используемый для выборочного разрушающего контроля, позволяет получить прямые результаты измерения с помощью микроскопа, но трудоемок и дорог. Многочисленными исследованиями микрошлифов отверстий установлено следующее (рис. 1):

- форма трубки меди может отличаться от правильной цилиндрической; шероховатость поверхности стенок трубки иногда столь велика, что может быть соизмерима с ее толщиной; стенки трубки иногда имеют утолщения в устье и более тонкую среднюю часть; толщина стенок трубки может изменяться вдоль стенок отверстия вплоть до крайнего случая, когда на одной части поверхности отверстия медь есть, а на другой - нет.

Сам способ изготовления микрошлифа иногда может служить источником возникновения дополнительных ошибок [3]. Во-первых, отверстие может быть разрезано не точно по оси, и в этом случае получится косое сечение стенки вместо нормального, что приведет к завышению измеренного значения толщины медного покрытия. Во-вторых, при шлифовке может произойти "размазывание" меди по поверхности шлифа, что также приведет к ошибке при измерениях. Изложенные выше соображения показывают, что способ измерения толщины меди по шлифам далек от совершенства, хотя и применяется повсеместно. В отличие от других он является способом прямого измерения, нагляден, и поэтому часто играет роль арбитражного.

Для контроля качества металлизации отверстий ПП применяют также различные методы неразрушающего контроля [3].

Метод измерения электрического сопротивления медной трубки в отверстии ПП реализован, в частности, в приборах типа CAVIDERM CD-8, CD-10 (Veeco Instrument Corp., UFA Technology Division, США) (рис.2). Недостатки этих приборов - влияние переходного сопротивления между датчиком и медной трубкой на результаты измерений, невозможность контроля до травления рисунка ПП, необходимость двустороннего доступа к МО.

Кроме измеряемой толщины медного слоя, показания прибора, использующего способ микросопротивления, в большей или меньшей степени зависят от диаметра отверстия, толщины платы, удельной электрической проводимости гальвани-

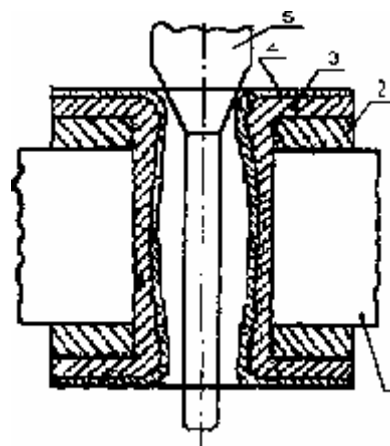


Рис.1. Схематическое изображение металлизированного отверстия ПП: 1 - стеклотекстолит; 2 - медная фольга; 3 - гальваническое медное покрытие; 4 - металлорезист (ПОС); 5 - вихретоковый преобразователь (датчик).

Fig.1. Schematic image metallized hole PCB: 1 - fiber-glass reinforced polymer; 2 - copper foil; 3 - copper plate; 4 - metalloresist (Sn-Pb); 5 - eddy-current sensor.

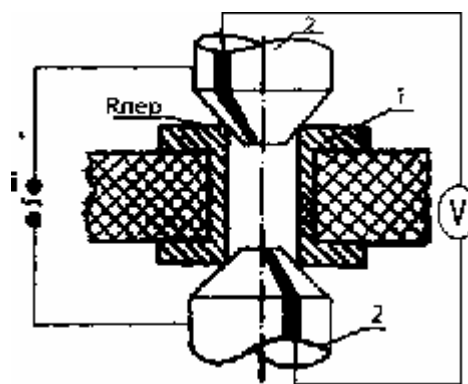


Рис.2. Схематическое изображение метода измерения электрического сопротивления МО: 1 - металлизированное отверстие ПП; 2 - контакты датчика.

Fig.2. Diagram demonstrating the method used for the measurement of electric resistance: 1 - metallized hole; 2 - sensor contacts.

ческой меди и медной фольги, диаметра контактной площадки. При пересчете микросопротивления на толщину слоя меди предполагается, что толщина слоя меди одинакова по длине трубки. Все это приводит к различиям при сопоставлении результатов с измерениями по микрошлифам.

В настоящей статье будут рассмотрены толщиномеры ИНТРОМЕТ, принципы их работы и области применения.

Накопленный в течение более чем двадцати пяти лет опыт применения в промышленности толщиномеров типа ИНТРОМЕТ, реализующих метод вихретокового неразрушающего контроля, показывает высокую эффективность этих приборов [3]. Используют их для отладки и контроля техноло-

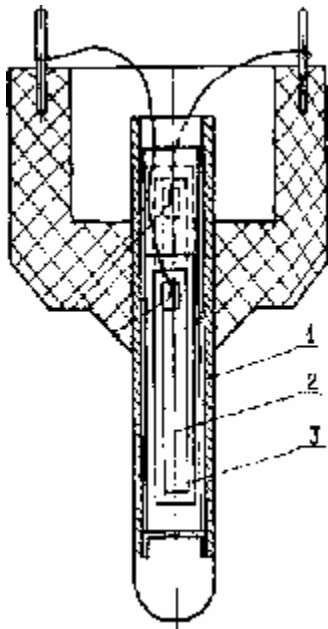


Рис.3. Вихретоковый преобразователь (датчик): 1 трубка - каркас датчика; 2,3 - катушки индуктивности.

Fig.3. Eddy-current transformer (sensor): 1 - the case; 2,3 - inductance coil.

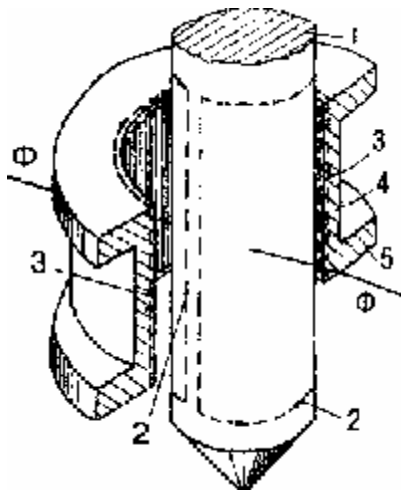


Рис.4. Вихретоковый преобразователь в контролируемом отверстии: 1 - датчик; 2,2а - возбуждающая и измерительная обмотки; 3 - вихревые токи; 4 - трубка меди; 5 — контактная площадка;  $\Phi$  - радиальный магнитный поток.

Fig.4. Eddy-current transformer inside the controlled hole:

1 - sensor; 2,2а - coils of inductance circuit; 3 - eddy-currents; 4 - copper tube; 5 - contact site (plane);  $\phi$  -radial magnetic field.

гического процесса металлизации отверстий, а также для выходного контроля печатных плат.

Основу прибора составляет вихретоковый датчик трансформаторного типа (патент США 5,600,240), возбуждающая и измерительная обмотки которого помещены внутри стальной трубки и вытянуты вдоль ее оси (рис.3). Стальная трубка 1 служит кар-

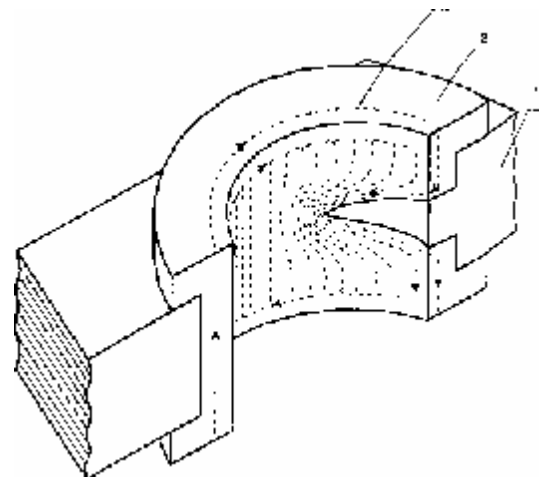


Рис.5. Распределение вихревых токов при поперечном разрыве в МО: 1 - стеклотекстолит; 2 - гальваническое медное покрытие; 3 - вихревые токи.

Fig.5. Distribution of eddy currents in a cross-section: 1 -fiber-glass reinforced polymer; 2 - electroplated copper; 3 - eddy currents.

касом датчика и защищает от механических повреждений катушки индуктивности 2 и 2а, изготовленные печатным способом и сформированные на эластичной диэлектрической подложке. Защитное покрытие на поверхности трубки предохраняет зонд от агрессивного воздействия электролита. Продольно расположенные витки возбуждающей обмотки 2 создают радиальный магнитный поток  $\Phi$  (рис. 4). В результате возникают вихревые токи 3 в трубке меди 4, направленные вдоль оси отверстия. Этим достигается значительное ослабление влияния изменения размеров и формы контактных площадок 5 на результаты измерения, которое неизбежно при традиционном для вихретоковых датчиков коаксиальном с отверстием размещении возбуждающих обмоток и осевом направлении магнитного потока.

Вихревые токи создают электродвижущую силу (э.д.с.) в измерительной обмотке датчика, которую измеряет и обрабатывает прибор.

Осевое направление вихревых токов позволяет обнаруживать поперечные разрывы в трубке металлизации, а также измерять равномерность распределения медного слоя в отверстии по направлению, перпендикулярному оси (рис. 5). Расположенные поперек трещины образуют препятствия, что приводит к уменьшению измеренных значений толщины слоя меди.

Возможно обнаружение азимутальной неравномерности распределения меди по поверхности стенок отверстия вследствие неоднородности распределения вихревых токов. Если вставить датчик в контролируемое отверстие поочередно в две пози-

Технические характеристики приборов ИНТРОМЕТ

| Характеристика \ Модель                                     | ИТМ-11      | ИТМ-12     | ИТМ-МП            |
|---|-------------|------------|-------------------|
| Диапазон измерения, мкм                                     | 5... 50     | 5... 50    | 2... 100          |
| Диаметры контролируемых отверстий, мм                       | 0,8... 1,3  | 0,6... 1,5 | 0,4... 2,0        |
| Толщины контролируемых плат, мм                             | 1,0... 2,0  | 1,0... 2,4 | 1,0... 6,0        |
| Разрешающая способность, мкм                                | 5           | 3          | 1                 |
| Учет удельной проводимости меди                             | —           | +          | +                 |
| Автоматическая установка нуля                               | —           | +          | +                 |
| Звуковая сигнализация                                       | —           | +          | +                 |
| Память для хранения результатов измерений, ед.              |             |            | 15000             |
| Выход на компьютер  | —           | —          | +                 |
| Питание, В  | 220         | 220        | 220, аккумуляторы |
| Габариты, мм  | 250x190x130 | 290x270x90 | 90x170x40         |
| Масса, кг   | 4,8         | 4,5        | 0,3               |
| Электромагнитная совместимость СЕ (директива 89/336/Е.Е.С.) | ---         | ---        | +                 |

ции, отличающиеся на 90 градусов, то неравномерность обнаружится в результате различных показаний прибора

Технические характеристики приборов ИНТРОМЕТ приведены в таблице, а приборы - на рис. 7.

**Все приборы поверяются Госстандартом.**

Все модели прибора ИНТРОМЕТ конструктивно состоят из электронного блока и выносного пробника, соединенных между собой гибким кабелем. Выносной пробник карандашного типа содержит вихретоковый преобразователь (ВТП). При измерениях ВТП вводится в МО, как схематично показано

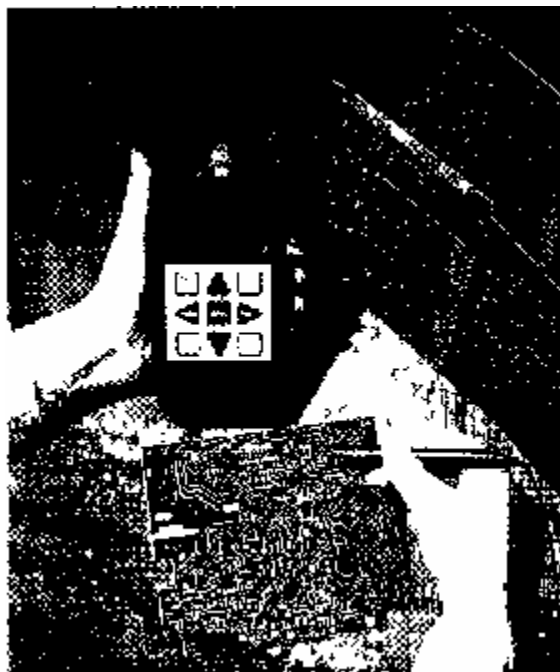


Рис 6

на рис.1. ВТП имеет конусную поверхность для центровки в МО. Как видно из таблицы, разные модификации прибора ИНТРОМЕТ предоставляют разные возможности в сервисе пользователю

Наиболее совершенная модель прибора ИТМ-МП, имеющая на мировом рынке марку CAVIDERM CDE-5100, разработана ИНТРОН ПЛЮС по заказу Veeco Instrument Corp., UPA Technology Division и впервые была представлена в 1994 году на международной выставке "Контроль- 94" в Чикаго (США) (рис. 6).

Заметим, что направление токов в слое меди при вихретоковом контроле такое же как и при контактном измерении микросопротивления трубки меди. Поэтому результаты контроля прибором CAVIDERM CDE-5100 хорошо совпадают с результатами контроля приборами, использующими метод микросопротивления, например CAVIDERM CD-8 и CD-10.



Рис 7

## Гальванотехника и обработка поверхности

Применяемый в приборе алгоритм обработки сигналов и метод калибровки позволяют предотвратить влияние температуры окружающей среды на результаты измерений. Зависимость сигнала от диаметра отверстия учитывается автоматически, а толщину измеряемой платы и значение удельной электрической проводимости гальванической меди можно ввести в память прибора с клавиатуры.

При включении прибора происходит автоматическая установка нуля, а калибровка производится (если это необходимо, так как калибровка не теряется и в выключенном состоянии) по образцу в виде медной пластины, которая находится в тех же условиях, что и контролируемые печатные платы.

При контроле ПП только что вынутой из гальванической ванны температура платы может отличаться от температуры окружающей среды, при которой выполнялась калибровка прибора. Вследствие этого может возникнуть погрешность измерения, связанная с изменением значения удельной электрической проводимости гальванической меди. Как показали теоретические и экспериментальные исследования, эти факторы вызывают отклонения показания прибора, не превышающие 4% от измеряемой величины при изменении температуры на 10°C. Но и эту небольшую погрешность прибор позволяет исключить. Для этого надо ввести в прибор с помощью клавиатуры значение удельной электрической проводимости гальванической меди с учетом различия температур ванны и окружающей среды. Эта процедура описана в инструкции по применению.

Данные измерений могут быть выведены на внешний компьютер/принтер через последовательный интерфейс типа RS-232.

Распечатка блока данных может содержать следующую информацию:

1. Заголовок (печатается всегда)
  - наименование фирмы-производителя: ИНТРОН

Плюс

- тип прибора:

ИНТРОМЕТ ИТМ-МП

- название файла данных
- год, месяц, дата и время создания блока
- верхний предел допуска на толщину медного покрытия
- нижний предел допуска на толщину медного покрытия

- толщина печатной платы
- значение удельной электрической проводимости меди

2. Данные измерений в блоке в цифровой форме

3. Данные измерений в блоке в графической форме

4. Статистические параметры блока данных
5. Гистограмма для данных блока.

Далее приведены примеры распечаток данных разных форматов:

### ПРИМЕР 1

Распечатка блока результатов измерений в цифровом виде:

ИНТРОН Плюс ИНТРОМЕТ ИТМ-МП

Продукт: ...

Имя: ...

-Результаты-

Файл: Прил.0 БЛОК: 06/23/95 15:11

ВП-35.0 m НП~ 15,0 m Тол. ПП= 1.60 mm Провод-50,0 M

1.6 m 15.4 m 27.2 m 27.4 m 27,2 m 43.1 m 43.3 m 66.1 m

Примечание:

Результаты: вид распечатки

ПРИЛ.0: имя файла, в который входит блок 06/23/95 15:11

### ПРИМЕР 2

Распечатка блока результатов измерений в графическом виде:

|   |        |   |          |
|---|--------|---|----------|
| ИНТРОН Плюс ИНТРОМЕТ ИТМ-МП             |        |   |          |
| Продукт:                                |        |   |          |
| Имя: .....                              |        |   |          |
| —Результаты—                            |        |   |          |
| Файл: ПРИЛ.0 БЛОК: 06/28/95 12:02       |        |   |          |
| ВП - 32.0 m НП - 12.0 m Тол. ПП- 1.60mm |        |   |          |
| Провод = 50,0 M                         |        |   |          |
| 12.0 m                                  | 32.0 m |   |          |
| 1 03.1m П                               | <<     |   | • :      |
| 2 09.3m П                               | <<     |   | : : 093m |
| 3 09,2m П                               | <<     |   | : :      |
| 4 14.1m П                               | *      |   | :        |
| 5 14.3m П                               | *      |   | :        |
| 6 18.9m П                               | * с    |   | :        |
| 7 18.8m П                               | *      |   | :        |
| 8 18.8m П                               | *      |   | :        |
| 9 30,2m П                               |        | * | :        |
| 10 39.5m П                              |        |   | >>:      |

Примечание:

НП 12.0 m : значение нижнего предела допуска ВП

32.0 m : значение верхнего предела допуска

<< : результат измерения меньше нижнего предела допуска

>> : результат измерения больше верхнего предела допуска

Основными преимуществами прибора ИТМ-МП являются: высокая точность; автономное питание от аккумуляторов; память для хранения результатов 15000 измерений; удобное меню для уп-

### ПРИМЕР 3

Распечатка статистических параметров и гистограммы блока результатов измерений:

**ИНРОН Плюс ИНТРОМЕТ ИТМ-МП**

Продукт:

Имя:

—**Результаты**—

Файл ПРИЛ.О БЛОК: 06/28/95 12:02

ВП- 32.0 m НП-12.0 m Тол ПП= 1.60mm

Провод. - 50.0 M

Срен - 16.6 m +/- = 27.1m N = 10 Std.Dev. - 08.6 m

Coeff. Var - 5.8% Мин.Изм. -03.1m Макс.Изм. - 30.2m

CP=\* **00.38** CR-02.60 CPK-00.17

ГИСТОГРАММА HISTOGRAM

3: ■■■■■■■■■■■■

12.0 m

2: ■■■■

16.0m:

3: ■■■■■■■■■■■■

20.0m:

0:

24.0m:

0:

28.0m:

2: ■■■■■■■■■■

32.0m:

Примечание: 2:

- : графическое представление гистограммы с указанием количества измерений в данном разряде гистограммы
- Средн. среднее значение толщины меди в мкм
- +/- диапазон результатов измерения
- Std.Dev. среднеквадратичное отклонение
- Coeff.Var. среднеквадратичное отклонение, нормированное по средней величине, выраженное в процентах
- Мин.Изм. минимальное измеренное значение толщины меди в мкм
- Макс.Изм. максимальное измеренное значение толщины меди в мкм
- CP,CR,CPK технологические коэффициенты

равления измерениями; статистическая обработка результатов измерений; возможность калибровки по образцам пользователя; автоматическая установка нуля; эргономичный дизайн; интерфейс для связи с компьютером/принтером; автоматическая печать времени и даты измерений.

Показания приборов ИНТРОМЕТ зависят от различных параметров МО. Приборы калибруют по прилагаемым образцам МО, которые выполнены с применением типичных процессов. Однако, реально не существует двух предприятий, использующих абсолютно идентичные процессы. Поэтому всем пользователям приборов ИНТРОМЕТ рекомендуется следующее:

1. На начальном этапе применения прибора провести сравнение результатов контроля с арбитражными данными, не вызывающими сомнения (это могут быть измерения по микрошлифам). Если степень совпадения удовлетворительная (в пределах  $\pm 5$  мкм) ничего больше делать не нужно. Можно нормально эксплуатировать прибор.

2. Если результаты измерения прибором имеют существенное систематическое отклонение, вероятно сочетание перечисленных выше факторов в чем-то отличается от типового. Прежде всего, следует попытаться уменьшить расхождения показаний прибора с данными микрошлифов путем коррекции заложенного в приборе значения удельной электрической проводимости гальванической меди. При установке большего значения проводимости показания уменьшаются, и наоборот. В моделях ИТМ-12 и ИТМ-МП эта установка производится с клавиатуры, в ИТМ-11 - путем изменения точки калибровки.

В модели ИТМ-МП предусмотрена еще одна возможность корректировки показаний прибора: градуировка прибора по образцам пользователя. Для этого необходимы образцы печатных плат с различной толщиной слоя меди в отверстиях, определенной, например, методом микрошлифов на образцах-свидетелях. Нужно иметь 4-6 образцов, охватывающих весь диапазон интересующих пользователя толщин покрытий. В этом случае в приборе будет использоваться градуировка, соответствующая образцам пользователя.

В модели ИТМ-МП предусмотрена также возможность определения значения удельной электрической проводимости меди по образцам печатных плат пользователя. Как было сказано выше, для этого необходимы образцы печатных плат с известной различной толщиной слоя меди в отверстиях. Сначала измеряют прибором толщину меди в данных отверстиях, затем с клавиатуры вводят истинные значения. В конце процедуры прибор определяет значение удельной электрической проводимости меди и отражает на дисплее. Так реализуется косвенный метод определения удельной электрической проводимости меди.

Методика измерения удельной электрической проводимости медного гальванического покрытия прямым способом состоит в следующем. Изготавливаются фотошаблон определенной формы и образцы меди путем электролитического осаждения. Затем определяются геометрические параметры образцов, и измеряется их электрическое сопротивление. Далее по известной формуле рассчитывается удельная электрическая проводимость меди. Полученное значение вводится в прибор.

3. Если отличия результатов измерения прибором от арбитражных данных носят случайный характер, а величина расхождений значительна, рекомендуется обращаться к фирме-изготовителю. Ни одно такое обращение не остается без внимания.

За более чем десять лет работы ИНТРОН ПЛЮС выпустил сотни приборов ИНТРОМЕТ. Более двухсот приборов работают в странах СНГ и примерно такое же количество было поставлено американскому дистрибьютору для дальнейшего распространения по миру.

Накоплен огромный опыт в использовании приборов. Многие предприятия применяют ИНТРОМЕТ на всей стадии процесса производства ПП. Некоторые предприятия (например, "Электромеханика", г. Пенза), не производящие ПП, применяют прибор для входной проверки.

Применение прибора ИНТРОМЕТ на Мытищинском Электротехническом заводе позволило уменьшить объем разрушающего контроля в 20 раз, предотвратить массовый брак, значительно сократить штат контролеров, поднять выход годных плат с 80-90% до 97-98%.

На многих предприятиях с помощью прибора были выявлены трещины в металлизации, возникающие после оплавления ПОС. В техпроцесс были внесены коррективы. Далее прибор обязательно использовался каждый день несколько раз за смену.

Известны случаи, когда покупатели возвращали поставщику партию ПП из-за малой толщины слоя меди, что заставляло вспомнить о контроле качества. Неоднократно у некоторых производителей возникали проблемы с реверсом тока в ванне. В этом случае применение ИНТРОМЕТА было уже не необходимо, а обязательно.

Известны даже курьезные случаи, когда в цех ПП поступали бракованные собранные блоки. Цех обвинялся в нарушении технологии и, как следствие, в браке готового изделия. После выпаивания элементов с помощью отсасывающего устройства платы исследовались ИНТРОМЕТОМ и определялось, что проблемы возникали на стадии сборки и т.д.

Главные преимущества приборов ИНТРОМЕТ по сравнению с другими средствами контроля покрытий в МО:

- простая настройка: для измерения толщины покрытия достаточно ввести в отверстие ПП вих-ретоковый датчик и прочесть показание индикатора в микронах;

- возможен контроль на любой стадии технологического процесса: от начала осаждения меди (непосредственно у гальванической ванны, благодаря чему сокращается время обработки ПП и энергозатраты при гарантированном качестве меднения) как до, так и после нанесения защитного покрытия ПОС;

- возможно не только измерять толщину меди, но и выявлять трещины, раковины и другие дефекты МО;

- не требуется вырезать (изолировать) контролируемое МО из медного покрытия на поверхностях ПП (до травления рисунка ПП) или из рисунка проводников (после травления), что необходимо при использовании метода электрического сопротивления;

- достаточен односторонний доступ к ПП.

Наш опыт показывает, что совместными усилиями с пользователем приборы ИНТРОМЕТ могут быть адаптированы к особенностям каждого изготовителя ПП, и их применение благоприятно скажется на качестве ПП, а значит и на конкурентоспособности продукции предприятия-пользователя.

#### Литература

1. Neumaier P. Kupferschichtdicken an Durchkontaktierungen von Leiterplatten Messen / Leiterplattentechnik, 1992, LP58-LP61.
2. В.В.Сухоруков, Ю.М.Улитин / Дефектоскопия; 1988, № 10, С.32.
3. Е.Э. Палеев, В.В. Сухоруков, Ю.М. Улитин / Дефектоскопия; 1993, № 4, С.30.

*ООО "ИНТРОН ПЛЮС", Москва, Россия  
"Intron Plus Ltd.", Moscow, Russia*