

НОВАЯ РЕНТГЕНООПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТОЛЩИНЫ ПОКРЫТИЯ МИНИАТЮРНЫХ СТРУКТУР

В электронной промышленности проблема высокоточного измерения толщины покрытия миниатюрных структур стоит очень остро. По мере уменьшения размера структур такое измерение с помощью рентгенофлуоресцентных приборов, оснащенных традиционными коллиматорами, становится практически невозможным. Разработанный же специалистами компании "Хельмут Фишер" прибор FISCHERSCOPE X-RAY XDVM-μ с новой рентгенооптической системой удовлетворяет самым жестким требованиям при измерении толщины покрытий, полученных электролитическим осаждением.

В условиях постоянной миниатюризации узлов и компонентов РЭА требования к измерительной технике, определяющей толщину нанесенного на них покрытия, ужесточаются. При рентгенофлуоресцентном методе измерения эти требования сводятся к тому, что параметры первичного луча и размеры структуры должны быть сопоставимы. В традиционных приборах такое согласование обеспечивается за счет использования более мелких коллиматоров. Однако при этом с уменьшением размера структур и коллиматоров снижается интенсивность первичного излучения. И только применение так называемых рентгенооптических систем позволяет добиться значительного улучшения характеристик измерения толщины покрытий на малых структурах.

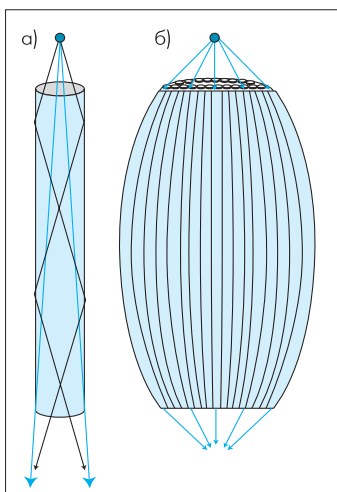


Рис. 1. Прохождение рентгеновских лучей в капиллярных линзах: а) монокапилляр; б) поликапиллярная линза

Рентгенооптические системы. Эти системы направленно отклоняют рентгеновские лучи, обеспечивая возможность их фокусировки или преобразования. Поскольку коэффициент преломления рентгеновских лучей в различных материалах варьируется очень незначительно, применение в рентгенооптических системах обычных оптических линз и зеркал невозможно. Зато в них используется эффект полного отражения. Подобно свету в световодах, рентгеновские лучи почти без потерь перемещаются по рентгенооптическому

каналу, а при определенной его форме на выходе фокусируются. При прохождении рентгеновских лучей по стеклянному монокапиллярному каналу происходит их полное отражение от внутренней поверхности капилляра (рис. 1а). Если определенным образом соединить большое число таких капилляров, то можно сконструировать поликапиллярную линзу (рис. 1б). А с ее помощью можно сфокусировать исходящее из рентгеновского источника излучение так, что сформируется луч высокой плотности, покрывающий очень малую область на измеряемой поверхности.

каналу, а при определенной его форме на выходе фокусируются.

При прохождении рентгеновских лучей по стеклянному монокапиллярному каналу происходит их полное отражение от внутренней поверхности капилляра (рис. 1а). Если определенным образом соединить большое число таких капилляров, то можно сконструировать поликапиллярную линзу (рис. 1б). А с ее помощью можно сфокусировать исходящее из рентгеновского источника излучение так, что сформируется луч высокой плотности, покрывающий очень малую область на измеряемой поверхности.

Компания "Хельмут Фишер" разработала и запатентовала новую рентгенооптическую систему, состоящую из двух плоских рентгеновских зеркал и щелевого коллиматора (рис. 2). Благодаря полному отражению от зеркал происходит фокусировка рентгеновского излучения, а щелевой коллиматор формирует необходимый пучок лучей. Важное достоинство этой гибридной системы состоит в том, что она вследствие простоты конструкции дешевле других рентгенооптических систем.

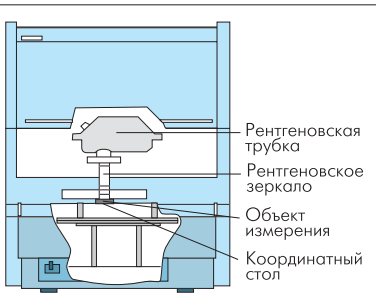


Рис. 3. Конструкция прибора модели FISCHERSCOPE X-RAY XDVM-μ

FISCHERSCOPE X-RAY XDVM-W путем замены одного из коллиматоров рентгеновской зеркальной оптикой было сконструировано устройство, позволяющее проводить измерения на очень малых объектах, — измерительный прибор модели FISCHERSCOPE X-RAY XDVM-μ (рис. 3).

Благодаря используемой рентгенооптической системе можно производить измерения на объектах с минимальными размерами 20х50 мкм. Интенсивность первичного луча при этом

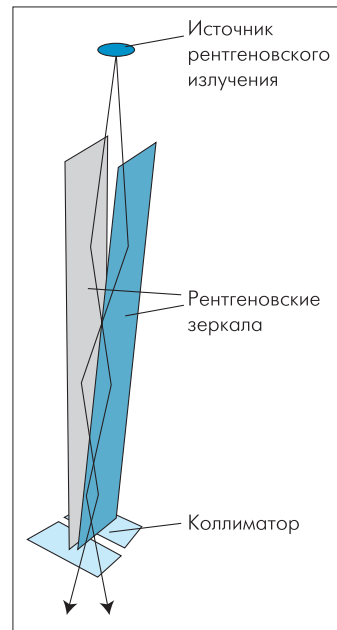


Рис. 2. Прохождение луча через рентгенооптическую систему, состоящую из двух плоских рентгеновских зеркал и щелевого коллиматора

Благодаря полному отражению от зеркал происходит фокусировка рентгеновского излучения, а щелевой коллиматор формирует необходимый пучок лучей. Важное достоинство этой гибридной системы состоит в том, что она вследствие простоты конструкции дешевле других рентгенооптических систем.

Измерительный прибор. На базе рентгенофлуоресцентного прибора модели

замены одного из коллиматоров



Рис. 4. Фотография печатной платы при 100-кратном увеличении. Прямоугольник в центре указывает место и размеры измеряемого участка

Таблица 1. Показатели измерения для трех слоев контактной площадки

Характеристика	Au	Ni	Cu
Толщина слоя, мкм	0,56	13,6	12,7
Погрешность измерения, мкм	0,011	1,01	3,05

примерно в 10 раз больше, чем у прибора с сопоставимой коллиматорной системой. Данный прибор способен не только измерять толщину покрытия на участке очень малой площади, но и с помощью программируемого координатного стола растривать какую-либо область образца. В результате возможно получение информации о распределении толщины слоя покрытия или о распределении элементов материала покрытия.

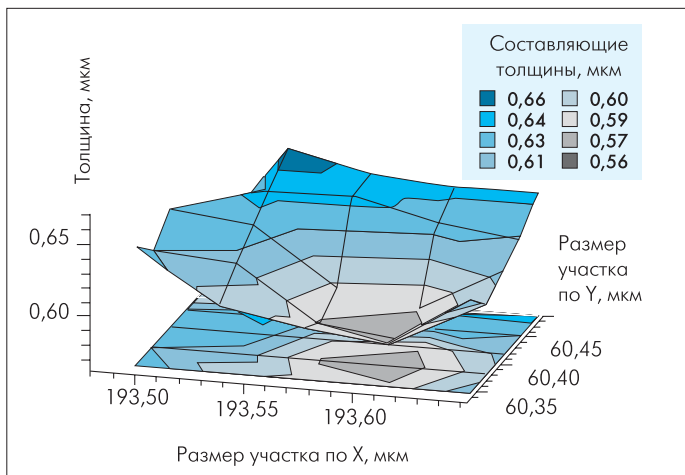


Рис.5. Распределение толщины золотосодержащего слоя

Применение прибора. Одна из важных сфер применения прибора FISCHERSCOPE X-RAY XDVM-μ – производство печатных плат. На рис.4 приведено видеозображение контактной площадки, представляющей собой систему слоев Au/Ni/Cu/подложка, которая исследовалась с помощью нового прибора с размерами измерительного окна 50x60 мкм. Показатели измерений даны в табл.1.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что и на объектах малых размеров теперь можно производить высокоточные измерения с хорошей воспроизводимостью.

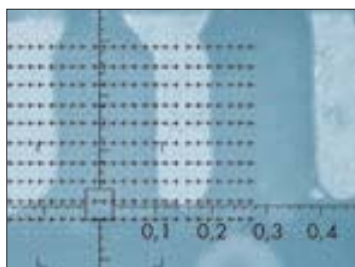


Рис.6. Фрагмент печатной платы со 100-кратным увеличением. Отмечена растриванная часть поверхности, на которой определено распределение толщины покрытия

Путем растеризации изображения контактной площадки возможно определение распределения толщины для каждого из трех составных слоев. На рис.5 представлено распределение толщины верхнего золотосодержащего слоя на площади 120x120 мкм. Другая интересная область применения рентгенооптического прибора FISCHERSCOPE X-RAY XDVM-μ – исследование малых цилиндрических объектов, таких как проволока или пружина. Исследовалась, в частности, подклавишная пружина, используемая в клавиатуре мобильного телефона, с диаметром проволоки 150 мкм. Материал пружины – медная проволока с нанесенным на нее двухслойным покрытием NiP/Au. При размерах измерительного окна 50x50 мкм прибор измерил толщину слоев таких покрытий без учета влияния радиуса их кривизны. Показатели измерений (время измерения – 60 с) приведены в табл.2

Таблица 2. Показатели измерения для двухслойного покрытия

Характеристика	Au	NiP
Толщина слоя, мкм	0,617	1,514
Погрешность измерения, мкм	0,005	0,068

Высокая точность и хорошая воспроизводимость результатов показывают, что с помощью рассматриваемого прибора можно с успехом измерять объекты очень малых размеров.

При исследовании таких объектов необходимо учитывать так называемые краевые эффекты, которые не играют никакой роли для крупных объектов. Примером могут служить измерения, выполненные на поверхности очень узких соединительных проводников на печатной плате (рис.6). Рассматриваемый участок представляет собой многослойную структуру, в которой поверхностный золотосодержащий слой нанесен поверх никелевого слоя. Под ним располагается более узкий медный слой, который отделен от медной подложки изолирующим слоем (рис.7). Поскольку данная структура ограничена по ширине, принимаемый детектором отраженный от нижних слоев луч либо сов-

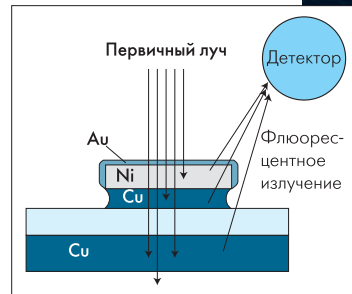


Рис.7. Поперечное сечение многослойной структуры проводника

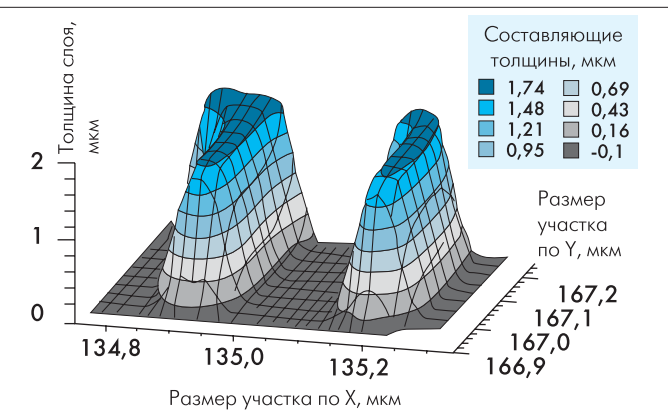


Рис.8. Распределение толщины золотосодержащего слоя структуры Au/Ni/Cu

сем не ослабляется вышерасположенными слоями, либо ослабляется лишь частично. Если этот эффект учитывается при оценке показателей измерения, то при использовании лучевого измерителя с измерительным окном малого размера (50x60 мкм) могут быть получены очень хорошие результаты (рис.8 и 9).

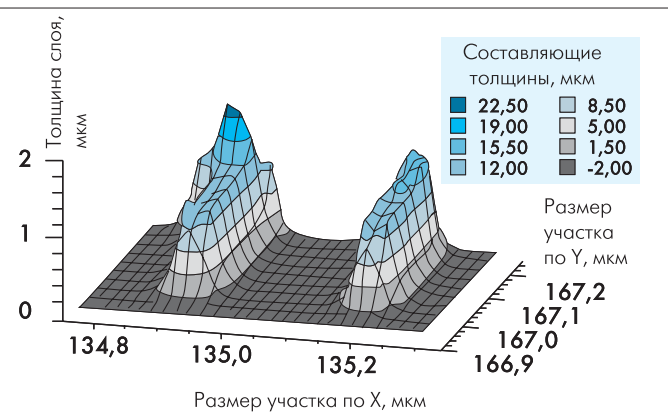


Рис.9. Распределение толщины слоя никеля

Новый прибор модели FISCHERSCOPE X-RAY XDVM-μ, оснащенный рентгеновской зеркальной оптикой, имеет измерительное окно с минимальными размерами 20x50 мкм. Таким образом, потребитель получил измерительный прибор, отвечающий требованиям измерения толщины покрытия объектов, все более сокращающихся по размерам.