

Подготовка поверхности прецизионных печатных плат перед нанесением сухого пленочного фоторезиста

Подготовка поверхности является одним из важнейших процессов в производстве печатных плат, который обеспечивает морфологию поверхности для надежного сцепления медной поверхности с последующими наносимыми слоями, органическими или металлическими. В одних случаях, например при подготовке поверхности перед нанесением защитной паяльной маски, необходимо, чтобы медь была связана с органическим слоем в течение длительного периода. В других случаях прочное соединение медной поверхности с органическим слоем должно обеспечиваться временно, только в течение определенного технологического процесса, как в случае фотолитографии. В предыдущей статье [1] был проведен обзор видов подготовки и подробно рассмотрена подготовка перед нанесением защитной паяльной маски ММТП-1260. Данная статья посвящена химической подготовке поверхности перед нанесением сухого пленочного фоторезиста.

Александра Григорьева
Юрий Мусихин
Полина Осокина

Особенности фоторезиста

Сухой пленочный фоторезист (СПФ) — светочувствительный пленочный материал, необходимый для формирования рисунка медных проводников на внутренних слоях печатных плат субтрактивным методом и внешних слоях либо тентинг-методом, либо комбинированным позитивным методом. В большинстве случаев материалы СПФ имеют гладкую, непроницаемую поверхность. Тем не менее при использовании некоторых агрессивных гальванических и травильных растворов связь слоя фоторезиста с поверхностью металла может быть недостаточна, поэтому части фоторезиста могут отделяться от поверхности, открывая закрытый ранее металл, что приводит к браку изделий. Сцепление между фоторезистом и подложкой должно быть прочным, чтобы он равномерно прилегал к поверхности заготовки печатной платы во время проведения технологического процесса и был устойчив к химическому воздействию растворов и электролитов.

Особое внимание при формировании слоя СПФ уделяется в производстве печатных плат тентинг-методом. Наиболее узким местом является гарантийный поясик контактной площадки печатной платы, где площадь поверхности контакта меди с фоторезистом минимальная. Для предупреждения брака при тентинг-методе во время операции травления важно использовать специальный тип фоторезиста, обладающий повышенной адгезией и устойчивый в травильных растворах, а также провести качественную подготовку медной поверхности, обеспечивающую создание развитой топологии поверхности

для увеличения площади контакта и прочной связи с пленкой фоторезиста.

Но при этом следует понимать, что фоторезист находится на поверхности печатной платы ограниченное количество времени, поэтому не требуется слишком высокой степени развитости поверхности подложки, иначе впоследствии будет затруднительно удалить фоторезист.

Механическая подготовка поверхности

Механическая подготовка поверхности — подготовка, при которой происходит удаление органических загрязнений и окислов и параллельное придание шероховатости с помощью физического воздействия на поверхность заготовки. Для этого перед нанесени-

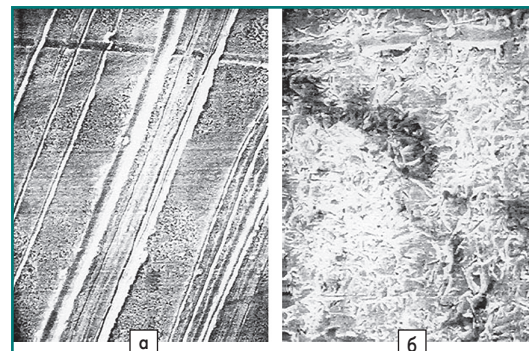


Рис. 1. Фотографии поверхности при механической: а) щеточной; б) пемзовой очистке, увеличение 1200× [2]

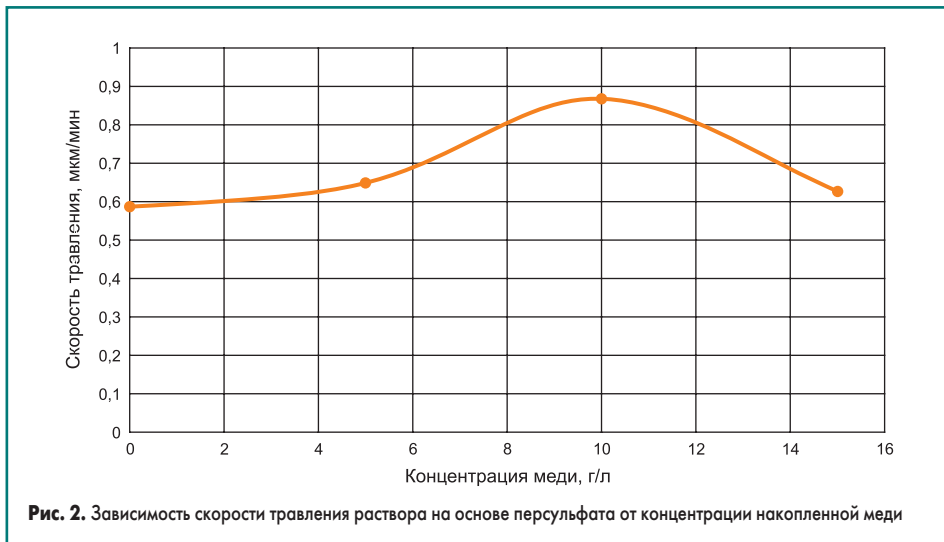


Рис. 2. Зависимость скорости травления раствора на основе персульфата от концентрации накопленной меди

ем фоторезиста используют щеточную зачистку или зачистку с использованием абразивов (пемзой или оксидом алюминия) (рис. 1).

Топология механически зачищенной поверхности влияет на адгезию между фоторезистом и медью: если рельеф слишком неоднородный, например глубокие риски после зачистки металлическими щетками, то нанесенный сухой пленочный фоторезист будет с трудом прилегать к поверхности. Особенно часто это происходит в тех местах, где риски проходят поперек проводников. Это может привести к таким дефектам, как частичный или полный подтрав проводников при субтрактивном и тентинг-методе или излишнее электроосаждение при комбинированном позитивном методе.

Механические методы зачистки используются для печатных плат до 4-го класса точности, так как являются слишком грубыми при повышенной прецизионности печатных плат и могут привести к отрыву, замыканию или истиранию тонких проводников.

Химическая подготовка поверхности

При химической подготовке увеличение адгезии происходит за счет создания развитого микрорельефа на поверхности металла травильными растворами. Химическая подготовка поверхности включает, как правило, три стадии обработки:

- Кислотная очистка. Первоначально необходимо избавиться от органических и механических загрязнений, присутствующих на заготовке. Для этого используется кислотный очиститель-микротравитель. Также на данной операции происходит легкое подтравливание для улучшенной очистки от различного рода поверхностных загрязнений. Кислые очистители значительно легче удаляются при промывке, чем щелочные, что позволяет сократить расход промывных вод.
- Модифицированное микротравление. Основная стадия обработки, на которой происходит обновление медной поверхности путем стравливания слоя толщиной около 1 мкм и придание ей требуемой шероховатости для последующего нанесения фоторезиста.

- Декапирование. Заключительная стадия, на которой происходит удаление оксидов, образовавшихся во время промывки после основного микротравления вследствие повышенной развитости и окисляемости поверхности.

Обычно для подготовки поверхности перед нанесением фоторезиста используются мягкие микротравители на основе персульфатов или перекиси водорода с серной кислотой.

Растворы на основе персульфатов с серной кислотой дают ровную обновленную медную поверхность с низким уровнем микрошероховатости, который достаточен лишь в качестве подготовки перед гальваническими покрытиями. Недостатки данных растворов:

- разложение персульфата во времени и при повышенных температурах;
- низкая емкость по меди — около 15 г/л [3];
- непостоянная скорость травления в зависимости от количества накопленной в растворе меди (рис. 2).

В последнее время, с повышением класса точности печатных плат, а следовательно, и с миниатюризацией проводников, требовались составы подготовки поверхности, позволяющие при меньшем стравливании металла более точно контролировать процесс травления, обеспечивая требуемую микрошероховатость. Поэтому для подготовки поверхности перед нанесением фоторезиста стали широко востребованы растворы модифицированного микротравления на основе перекиси водорода и серной кислоты [3].

По сравнению с персульфатными растворами модифицированные микротравители на основе перекиси водорода и серной кислоты имеют более высокую емкость по меди и более долговечный срок службы за счет присутствия в их составе стабилизаторов перекиси водорода. Микротравители на основе перекиси водорода и серной кислоты модифицируют органическими добавками для достижения требуемых свойств — более высокой шероховатости поверхности и увеличения скорости травления.

СПбЦ «ЭЛМА» разработан процесс ММТО-1230, который включает в себя операции: кислотной очистки-микротравления в растворе ММТО-1231, модифицированного



Рис. 3. Схематическое изображение механизма травления в растворе модифицированного микротравления ММТО-1230

микротравления в растворе ММТО-1232, декапирования в растворе 10% серной кислоты.

Органические агенты в составе раствора модифицированного микротравления на основе перекиси водорода и серной кислоты ММТО-1232 позволяют компонентам раствора травить медь не равномерно, а вглубь по границам зерен металла, за счет чего микрорельеф поверхности увеличивается (рис. 3).

Исследование морфологии поверхности

Исследования морфологии поверхности проводились при помощи атомно-силовой микроскопии (АСМ) на оборудовании STM Solver P47 Pro в полуконтактном (tapping mode) режиме, с использованием кремневых кантилеверов марки NSG01 с радиусом кривизны зонда ~10 нм. Сканирование выполнялось в режиме отображения топографии (рельефа) поверхности в нескольких точках образца. Размер участка сканирования 20×20 мкм.

Определение средней шероховатости (R_a) и среднего перепада высот поверхности покрытия осуществлялось по ГОСТ Р 8.700-2010 [4].

Исследуемые образцы обрабатывались по технологии подготовки поверхности перед нанесением сухого пленочного фоторезиста: кислотная очистка, микротравление, декапирование. Время между операцией подготовки поверхности и анализом АСМ не более 24 ч. Исследованию подвергались образцы после обработки в двух растворах микротравления: раствор микротравления на основе персульфата и серной кислоты и раствор модифицированного микротравления ММТО-1232.

Следует иметь в виду, что свежесаженное гальваническое медное покрытие слабо поддается обработке в любых растворах микротравления, так как рекристаллизация меди еще не завершена. Для ускорения процесса рекристаллизации и обеспечения постоянной скорости травления меди необходимо провести процесс термической обработки. Для выполнения испытаний все образцы подвергались термообработке при +80 °С в течение 1,5 ч.

На рис. 4 представлены морфология и профиль поверхности в месте сечения, полученные с помощью атомно-силовой микроскопии, после обработки в персульфатном растворе микротравления (рис. 4а) и после обработки в растворе модифицированного

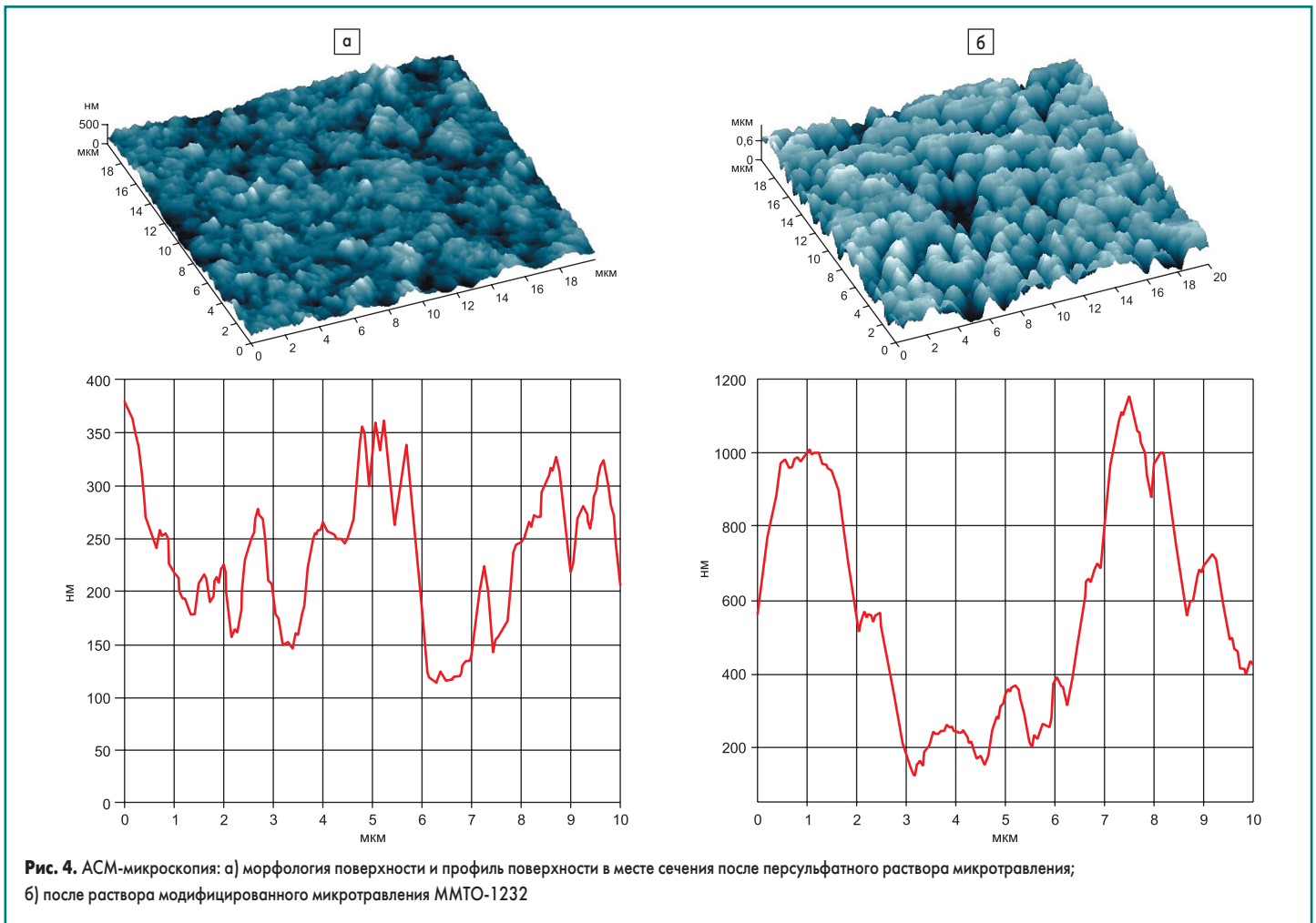


Рис. 4. АСМ-микроскопия: а) морфология поверхности и профиль поверхности в месте сечения после персульфатного раствора микроотравления; б) после раствора модифицированного микроотравления ММТО-1232

Таблица 1. Значения средней шероховатости и перепада высот подготовленной медной поверхности

Параметр/ размер кадра сканирования		Раствор микроотравления на основе персульфата с серной кислотой	Раствор модифицированного микроотравления ММТО-1232
Средняя шероховатость поверхности, R_a , нм	20×20 мкм	60	160
Средний перепад высот, нм	20×20 мкм	298	722

микроотравления ММТО-1232 (рис. 4б). Значения средней шероховатости и перепада высот для растворов представлены в таблице 1.

На изображениях топографии поверхности видна разница между данными типами подготовки. Поверхность после обработки в персульфатном растворе имеет мелкозернистую структуру, ориентированную в различных направлениях. На топографии поверхности после обработки в растворе ММТО-1232 четко выявлены зерна металлов и более неравномерная микроструктура. Перепад высот и средняя шероховатость поверхности после обработки в растворе ММТО-1232 в несколько раз выше значений шероховатости после обработки в персульфатном растворе.

После обработки заготовок печатных плат по технологическому процессу ММТО-1230 получается поверхность светло-розового равномерного цвета с развитым микрорельефом (рис. 5).

Исследование степени адгезии

Для получения количественной характеристики степени адгезии в СПбЦ «ЭЛМА» раз-

работана методика определения показателя адгезии при помощи разрывной машины марки ЭЛ-РЭМ. Показатель адгезии — это количественное определение силы отрыва самоклеящейся липкой ленты от поверхности исследуемого образца заготовки печатной платы. Липкая лента приклеивается при помощи специального прикаточного ролика к поверхности образца, прошедшего подготовку поверхности: механическую или химическую. На разрывной машине липкая лента отделяется приложением постоянного отрывного усилия перпендикулярно к поверхности образца. При помощи компьютера фиксируется зависимость усилия на отрыв (Н) от перемещения образца (мм). Аппроксимированные числовые значения при выходе графика зависимости на площадку принимаются значением показателя адгезии.

С помощью разрывной машины получены значения показателя адгезии для следующих поверхностей:

- медная поверхность после гальванического осаждения без обработки;
- медная поверхность после механической подготовки;

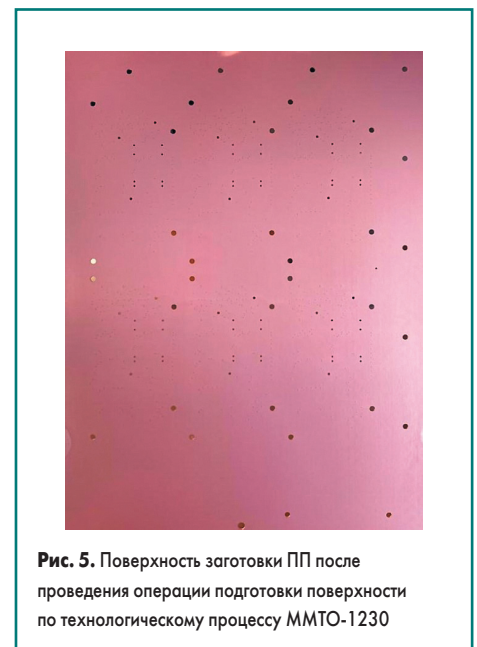


Рис. 5. Поверхность заготовки ПП после проведения операции подготовки поверхности по технологическому процессу ММТО-1230

- медная поверхность после химической подготовки в растворе микроотравления на основе персульфата натрия с серной кислотой;
- медная поверхность после химической подготовки в растворе модифицированного микроотравления ММТО-1232 (на основе перекиси водорода и серной кислоты);
- медная поверхность после химической подготовки в растворе модифицированного микроотравления ММТО-1262 (на основе органической кислоты).

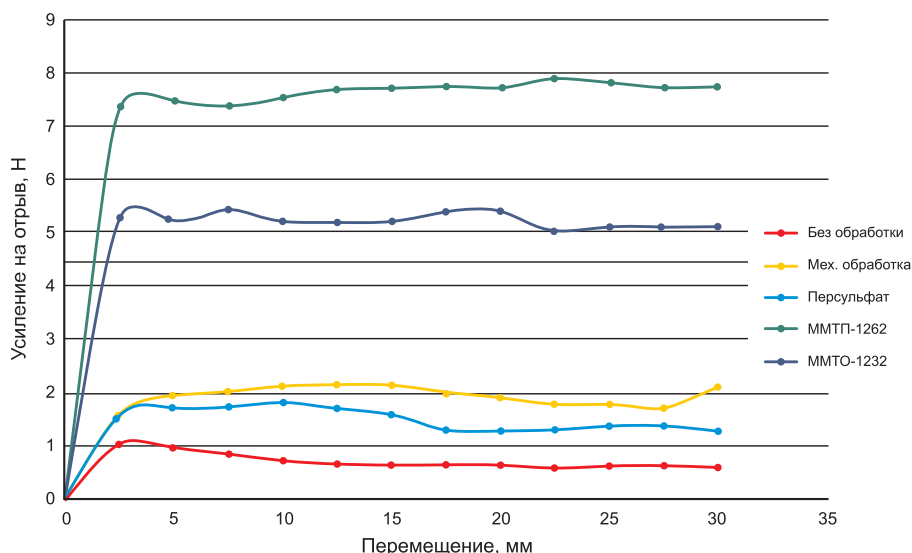


Рис. 6. Испытание на адгезию с помощью разрывной машины

Таблица 2. Средние значения показателя адгезии поверхности при различной обработке

Вид обработки	Значение показателя адгезии, Н/25 мм
Без обработки	0,72
Механическая подготовка	2
Химическая подготовка на основе персульфата с серной кислотой	1,5
Химическая подготовка в модифициро-ванном микроотравителе ММТО-1232	5,3
Химическая подготовка в модифициро-ванном микроотравителе ММТП-1262	7,8

Результаты количественного анализа степени адгезии поверхности после различных подготовок представлены на рис. 6 и в таблице 2.

Показатель адгезии поверхности после подготовки в персульфатном растворе микроотравления в два раза выше, чем у поверхности без подготовки, такая степень адгезии достаточна лишь для сцепления с последующими гальванически осаждаемыми слоями. Показатель адгезии поверхности, обработанной в растворе модифицированного микроотравления ММТО-1232, в 5 раз выше, чем у исходной поверхности без подготовки, но ниже, чем в растворах модифицированного микроотравления на основе органической кислоты.

Следует обратить внимание, что для подготовки поверхности перед нанесением защитной паяльной маски и сухого пленочного фоторезиста необходимо использовать разные растворы модифицированного микроотравления. Для подготовки перед нанесением фоторезиста требуются растворы, обеспечивающие уровень адгезии и степень шероховатости ниже, чем для поверхности перед нанесением защитной паяльной маски [3], так как паяльная маска находится на поверхности печатной платы в течение всего времени эксплуатации. Более того, защитная паяльная маска подвергается механическому воздействию при монтаже и эксплуатации, термическому воздействию при нанесении финишного покрытия горячего лужения, химическому и термическому воздействию при нанесении финишных иммерсионных покрытий (значения pH растворов иммерсионного оловянирования близки к 0; рабочая температура растворов химического никелирования и иммерсионного золочения +80...+90 °C). По этой причине подготовка перед нанесением ЗПМ должна обеспечивать максимальную степень адгезии к медной поверхности.

Растворы модифицированного микроотравления на основе органической кислоты в качестве подготовки перед нанесением СПФ не используются, так как обеспечивают слишком высокое сцепление, которое может привести к проблемному снятию фоторезиста с поверхности. Кроме этого, после обработки в растворах модифицированного микроотравления на основе органической кислоты медная поверхность при-

обретает более темный, кирпичный цвет, что вызывает определенные трудности при автоматической оптической инспекции (АОИ).

Дополнительное применение раствора ММТО-1232

Раствор модифицированного микроотравления ММТО-1232 помимо подготовки перед нанесением СПФ имеет и другие применения на предприятиях:

- Подготовка поверхности перед нанесением защитной паяльной маски при условии, если последующим финишным покрытием будет горячее лужение ПОС-63/ПОС-61 или иммерсионное серебро.
- Подготовка поверхности перед горячим лужением ПОС-63/ПОС-61.
- Подготовка поверхности перед нанесением финишных покрытий под пайку: иммерсионного олова, иммерсионного серебра, химического никеля/иммерсионного золота, ОЗП по меди.

Заключение

Не существует универсального раствора для подготовки поверхности перед различными процессами, поскольку каждая операция требует определенной степени адгезии и морфологии поверхности.

Модифицированный раствор ММТО-1232 на основе перекиси водорода и серной кислоты используется для подготовки поверхности перед нанесением сухого пленочного фоторезиста на внутренние и внешние слои печатных плат, обеспечивая достаточную адгезию к медной поверхности, в то же время не препятствуя операции снятия фоторезиста.

Технологический процесс ММТО-1230 положительно зарекомендовал себя на ряде предприятий в связи с эффективностью, простотой использования, отсутствием дефектов, низкими температурными режимами, простым контролем растворов.

Литература

1. Терешкин В., Григорьева Л., Мусихин Ю., Осокина П. Влияние подготовки поверхности на адгезию защитной паяльной маски // Технологии в электронной промышленности. 2018. № 7.
2. Seraphim D. P., Lasky R. C., Li C.-Y. Principles of Electronic Packaging, McGraw-Hill, 1989.
3. Coombs C. F., Jr. Printed circuits handbook. Sixth Edition. The McGraw-Hill, 2008.
4. ГОСТ Р 8.700-2010 «Методика измерений эффективной высоты шероховатости поверхности с помощью сканирующего зондового атомно-силового микроскопа».
5. Хоботова Э., Ларин В., Егорова Л., Даценко В., Добрян М. Химическое растворение меди и ее сплавов в растворах различного состава и оптимизация технологических процессов травления металлов. Харьков, ХНАДУ, 2008.