

УДК 621.3.049.75

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ НА РАЗРЕШЕНИЕ ПРОЦЕССА ФОТОЛИТОГРАФИИ**

Максим Андреевич Мельник, Валерия Васильевна Сутакова

*Студенты 4 курса, бакалавриат,**кафедра «Электронные технологии в машиностроении»**Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана**Научный руководитель: Ю.С. Боброва,**ассистент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»*

Фотолитография, являясь частью технологического процесса производства печатных плат, характеризуется минимальным элементом изображения и точностью его воспроизведения в фоторезисте, погрешностью совмещения топологических слоёв, плотностью дефектов в технологическом слое [1]. Также важным параметром здесь является разрешение процесса фотолитографии (и разрешение самого фоторезиста как составляющая). Разрешающая способность может быть определена либо количеством раздельно передаваемых одинаковых линий защитного рельефа на линейную единицу поверхности подложки, либо наименьшей шириной линии (расстоянием между линиями). При этом разрешающая способность фотолитографии ниже таковой у фоторезиста в силу действия оптических эффектов. Особенно влияние дифракции, диффузного рассеивания и отражения от подложки проявляется при размерах фоточувствительного слоя, сопоставимых с длиной волны излучения.

В данной работе выдвигается гипотеза о возможности влияния шероховатости поверхности на разрешающую способность фотолитографии. Неровности поверхности могут стать причиной отклонения отражённой волны излучения от своей изначальной траектории. Траектория отражённой волны в случае с поверхностью с большей шероховатостью (см. Рис. 1а) отличается от таковой у поверхности с меньшей шероховатостью (см. Рис. 2б).

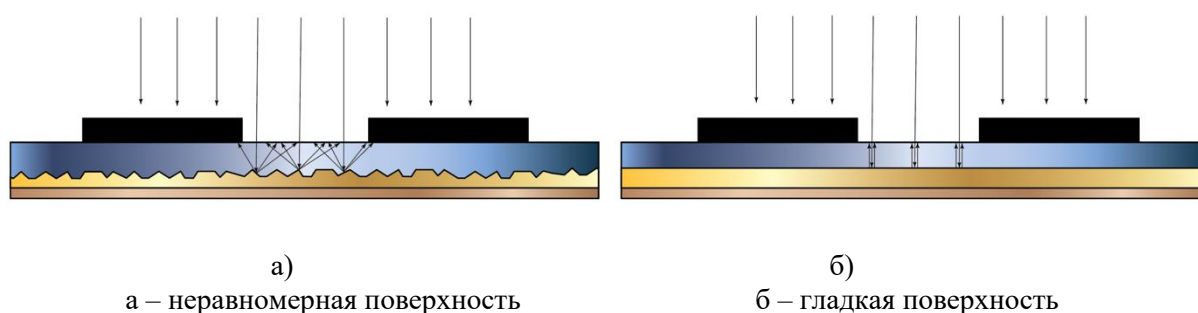


Рис. 1. Отражение лучей на подложках с разной шероховатостью

В рамках эксперимента образцам была придана шероховатость посредством механической обработки ручной шлифовальной машинкой с абразивной бумагой различной шероховатости и обработкой в растворах персульфата натрия и персульфата аммония в течение 30 и 60 с. Дынные о полученных шероховатостях представлены в Таблице 1. Численные данные были получены на профилометре TR220. Значения измерялись в четырех областях образцов, и принималось максимальное значение Rz.

Таблица 1. Шероховатости поверхности после обработки

Вид обработки	Абразивная бумага p2500	Абразивная бумага p1200	Персульфат натрия		Персульфат аммония	
			30 с	60 с	30 с	60 с
Шероховатость Rz, мкм	1,970	3,410	1,559	2,045	1,776	2,148

После механической обработки подложка очищалась холодной проточной водой. После обработки в растворах подложка обрабатывалась проточной водой, затем нейтрализовывалась раствором натрия углекислого малой концентрации, а затем снова очищалась проточной водой. Далее проводилось нанесение фоторезиста толщиной 40 мкм. Для каждого из 6 образцов производилось экспонирование в течение 15, 20, 25 и 30 с. Оптимальная длительность экспонирования для используемой топологии составила 25 с. Данная величина определяется экспериментально путём оценки воспроизводимости рисунка фотошаблона на заготовке после проявления. Проявление осуществлялось погружным методом в растворе  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  в течение 2 минут.

Механическая обработка придаёт определённую шероховатость поверхности посредством пластической деформации медного слоя, в то время как химическая подготовка растравливает межкристаллические промежутки. Первый способ не применяется к платам с прецизионными рисунками в силу подтравы в местах с механическими повреждениями под фоторезистом [2].

На микроскопе замерялась ширина зазора топологии и оценивалось её отклонение от номинального размера на фотошаблоне. Полученные отклонения представлены в Таблице 2.

Таблица 2. Оценка разрешения процесса фотолитографии

Вид обработки	Абразивная бумага P2500	Абразивная бумага p1200	Персульфат натрия		Персульфат аммония	
			30 с	60 с	30 с	60 с
Ширина элемента маски, мкм	109,44	100,00	86,42	109,08	84,71	88,75
Отклонение от номинального значения, мкм	9	0	14	9	16	12

В ходе оценки результатов экспериментов, проведённых с химическими растворами, в исследуемом диапазоне шероховатостей были выявлены следующие закономерности:

1. С уменьшением значения шероховатости падает разрешающая способность фотолитографии.

2. С уменьшением значения шероховатости уменьшается ширина зазора.

Второй вывод может быть объяснён тем, что слишком низкая шероховатость создаёт более гладкую поверхность. Тем самым направление отражённых лучей при экспонировании стремится к ортогональности от подложки. Отклонение отражённого луча невелико и направлено в затемнённую область, как показано на Рис. 2. В эксперименте делается допущение, что направление излучения от ламп установки экспонирования ортогонально поверхности. В реальных условиях траектория излучения от ламп имеет хаотичный характер.

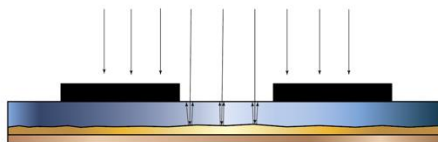


Рис. 2. Отклонения отраженных лучей при небольшой шероховатости

Согласно ГОСТ 53432-2009 «Платы печатные. Общие технические требования к производству» необходимая на этапе подготовки поверхности шероховатость составляет 1,25 – 2,5 мкм [3]. Как видно из результатов экспериментов образец, подвергшийся механической обработке абразивной бумагой с зернистостью р1200, имеет наименьшее отклонение от номинального значения зазора и обладает шероховатостью, входящей в допуск по ГОСТ. Хотя механическая обработка обеспечивает требуемую шероховатость, поверхность подложки деформируется, что сказывается на работе конечного изделия. Химическое травление лишено такого недостатка и обеспечивает достаточную адгезию фоторезиста к токопроводящему слою. Также этот способ за счёт увеличения ширины фотополимерной структуры на этапе экспонирования позволяет компенсировать боковой подтрав. Микротравление поверхности увеличивает площадь сцепления фоторезиста с медной поверхностью за счёт её разветвления, тем самым уменьшая необходимое время экспонирования, что обеспечивает меньшее боковое засвечивание.

### Литература

1. Лапинов Б.А. Технология литографических процессов. Учебное пособие – Московский государственный институт электроники и математики. – М., 2011. 95 с.
2. Лейтес И. Адгезионная подготовка поверхности в технологии печатных плат // Технологии в электронной промышленности. Электрон. Журн. 2015. №1. Режим доступа: <https://www.tech-e.ru/number.php?year=2015&number=1> (дата обращения 10.03.2019).
3. ГОСТ Р 53432-2009. Платы печатные. Общие технические требования к производству. Введ. 2010-07-01. М.: Стандартинформ, 2010. 16 с.