

УДК 621.794.42**ИССЛЕДОВАНИЕ БОКОВОГО ПОДТРАВА ПРОВОДНИКОВ ПРИ ПОГРУЖНОМ ТРАВЛЕНИИ**

Даниил Константинович Маркин,

*Студент 4 курса,**кафедра «Электронные технологии в машиностроении»**Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана**Научный руководитель: Ю.С. Боброва,**ассистент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»**Ключевые слова: боковой подтрав, погружное травление, регенерация растворов травления*

Аннотация: Коммутационные платы специального назначения выполняют на керамиках типа нитрида алюминия, ситалла, поликора и т.д. Из-за малого размера заготовок изготовление с помощью конвейерного струйного травления не целесообразно, поэтому прибегают к классическому способу погружного травления. Для данного способа характерен большой боковой подтрав. В статье приведены результаты анализа факторов, влияющих на величину бокового подтрав, и математическая модель косвенной зависимости подтрав от времени травления и температуры раствора травления.

При погружном травлении стравливание незащищенного металла происходит не только вглубь, но и в стороны, что приводит к уменьшению площади поперечного сечения проводников. Это явление называется боковым подтравом. Основными факторами, влияющими на величину бокового подтрав являются:

- концентрация меди в растворе (влияет на скорость травления);
- температура раствора (влияет на скорость травления);
- рН раствора (косвенно, так как влияет на растворяющую способность раствора);
- плотность раствора;
- время травления (критично для наноразмерных пленок, так как время составляет несколько секунд).

В ходе процесса травления состав раствора меняется, в нем накапливается медь, плотность увеличивается. Для стабилизации процесса и поддержания его параметров на определенном уровне используют системы регенерации. В таблице 1 приведены основные растворы для травления медных проводников.

Таблица 1. Растворы для травления меди [1]

Раствор	Применимость для тонкопленочных плат	Применимость для печатных плат	Регенерация
FeCl ₃	Да	Да	Частичная
(NH ₄) ₂ S ₂ O ₈	Да	Да	Частичная
CuCl ₂ +HCl	Да	Да	Полная (токсичная)
H ₂ O ₂ +HCl	Только для медных пленок	Да	Нет (получение чистого технического CuSO ₄)

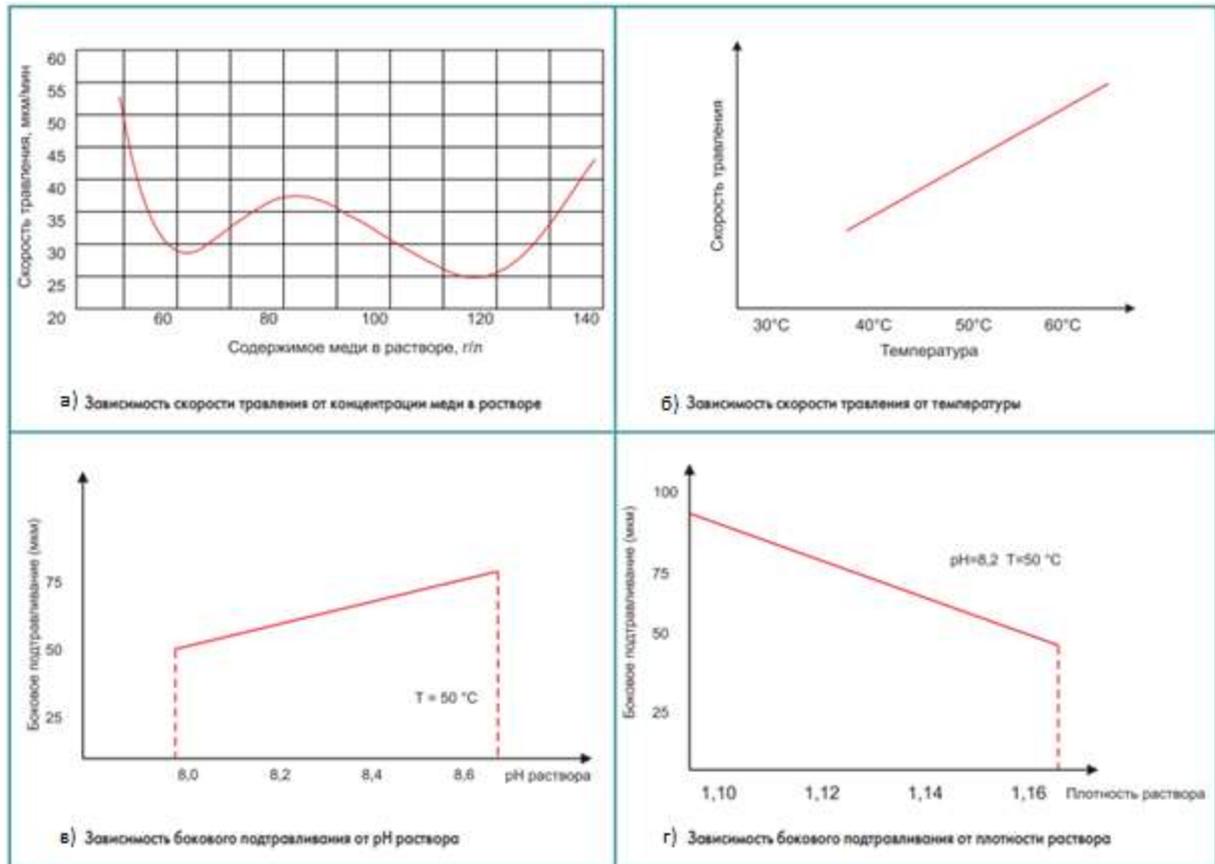


Рис. 1. Графики зависимости скорости травления от концентрации меди в растворе (а) и температуры (б); бокового подтравливания от pH раствора (в) и плотности раствора (г)[2]



Рис. 2. График зависимости сопротивления от времени погружного травления

На основе анализа всех факторов выявлено, что наиболее легко регулируемые факторами является температура и время травления. Варьируя эти факторы был проведен эксперимент на образцах, представленных на рисунке 3.

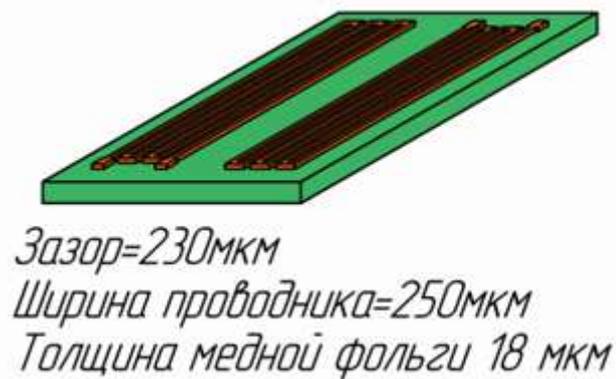


Рис. 3. Эскиз образца

За основу был взят стеклотекстолит фольгированный с одной стороны с толщиной фольги 18 мкм. Для травления был использован свежеприготовленный раствор хлорного железа ($FeCl_3$). В данном эксперименте варьировались два параметра: время травления (от 8 до 13 минут) и температура раствора травления (от 19°C до 35°C). Изменение концентрации раствора пренебрежительно мало, поэтому им можно пренебречь, остальные факторы, влияющие на качество травления, принимались случайными и незначимыми. Образцы проходили травление с равномерным движением по окружности (рис. 4), что способствовало удалению продуктов реакции и перемешиванию раствора травления. Нагрев проводился с помощью термостол. Результаты эксперимента приведены в таблице 2.

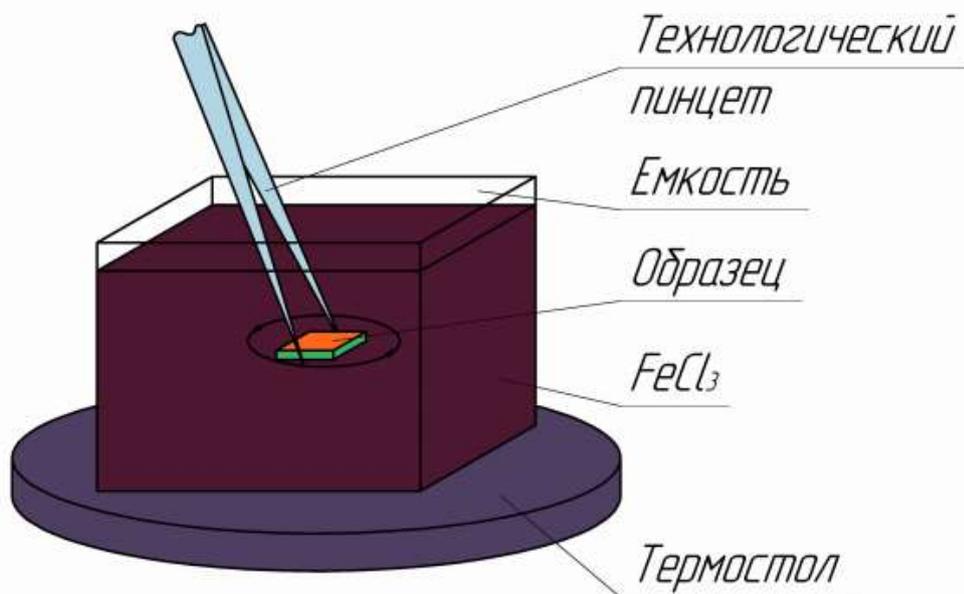


Рис. 4. Схема проведения эксперимента

Таблица 2. Значения выходного параметра

№	Время [мин:сек]	Температура [°C]	Сопротивление [МОм]
1	8:00	19	232,5
2	13:00	19	242
3	8:00	35	247
4	13:00	35	262,5
5	8:00	23	247

6	13:00	23	248
7	8:00	27	228
8	13:00	27	256,5
9	10:30	29	253,5
10	10:30	23	218,5
11	9:15	23	252,5

По результатам эксперимента был проведен математический анализ и выявлено что все значения являются в пределах допустимых. Проверка проходила по критерию Кохрена. Для построения модели были взяты первые четыре строчки и с их помощью получены следующие значения полинома и их коэффициенты значимости (таблица 3).

Таблица 3. Значения полинома и их коэффициенты значимости

b_0	246	t_0	371,91
b_1	6,25	t_1	9,449
b_2	8,75	t_2	13,229
b_{12}	1,5	t_{12}	2,268

Полученные коэффициенты показали, что время, температура и их взаимовлияние вносят заметный вклад в увеличение величины бокового подтрав, так как критическое значения для данной выборки составляет $t_{кр}=2,201$. С помощью этих коэффициентов была составлена математическая модель.

$$R=246+6.25t+8.75T+1.5tT$$

где t – безразмерный коэффициент времени;

T – безразмерный коэффициент температуры.

Проверка адекватности была проведена с помощью критерия Фишера. Расчетные данные и экспериментальные представлены в таблице 4.

Таблица 4. Расчетные и экспериментальные значения сопротивления (в МОм)

№	Экспериментальное	Расчетное
1	232,5	232,5
2	242	242
3	247	247
4	262,5	262,5
5	247	236,125
6	248	247,125
7	228	239,75
8	256,5	252,25
9	253,5	248,1875
10	218,5	241,625
11	252,5	238,875

По данным значениям была посчитана дисперсия адекватности и экспериментальный коэффициент критерия Фишера.

$$F_3 = \frac{S_{ад}^2}{S^2(Y)/n} = \frac{146.255}{295/2} = 0.9915 < F_{кр} = 2.95$$

Данная модель прошла проверку на адекватность, поэтому позволяет предсказать сопротивление проводника. В данном эксперименте не изменялись: толщина фольги и ее материал. Изменялась только ширина проводника, что позволяет косвенно определить боковой подтрав (рис. 5).

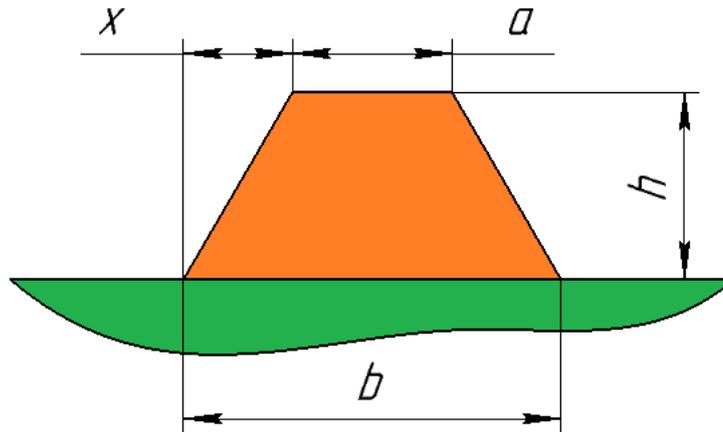


Рис. 5. Расчетная модель

Для получения формулы пересчета сопротивления в боковой подтрав примем, что сечение принимает форму трапеции, на самом же деле боковая грань является линией порядка выше второго. С этими допущениями выведем формулу пересчета.

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S},$$

$$S = \frac{a + b}{2} \cdot h,$$

$$x = \frac{b - a}{2}, a = b - 2x,$$

$$S = (b - x) \cdot h,$$

$$R = \frac{\rho \cdot l}{(b - x) \cdot h}, x = b - \frac{\rho \cdot l}{R \cdot h}$$

По данной формуле можно приблизительно оценить боковой подтрав, но для более точных оценок нужны качественные шлифы.

Заключение

По данным эксперимента составлена математическая модель зависимости сопротивления от времени и температуры раствора травления. По расчетам этой модели лучшее температура раствора FeCl_3 для более стабильных параметров травления составляет от 23°C до 29°C . Однако, боковой подтрав всегда будет присутствовать, и его влияние можно уменьшить путем изменения ширины проводника на фотошаблоне, что определяет будущий вектор исследований.

Литература

1. Зуева, Т.В. Разработка технологии утилизации отработанных медно-аммиачных растворов травления [Текст]: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (03.02.08) / Зуева Татьяна Владимировна; ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет» России. – Пенза, 2014. – 120 с.
2. Терешкин, В. Травление печатных плат и регенерация травильных растворов [Текст] / В. Терешкин, Ж. Фантгоф, Л. Григорьева // Технологии в электронной промышленности. – 2007. - №3. – С. 26-29.