

УДК 621.382.2/3-546.82

Матвеева В.О.<sup>1,2</sup>, Зубова О.А.<sup>2</sup>, Векша А.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Белорусский государственный технологический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>ОАО "ИНТЕГРАЛ" - управляющая компания холдинга "ИНТЕГРАЛ",  
г. Минск, Республика Беларусь

## ЖИДКОСТНОЕ ТРАВЛЕНИЕ ТИТАНА ПРИ ФОРМИРОВАНИИ МИКРОБОЛОМЕТРИЧЕСКОЙ МАТРИЦЫ

Тепловизор – это прибор, который позволяет одинаково хорошо контролировать ситуацию (вести наблюдение) днем и ночью при любых погодных условиях, работая в тепловом, невидимом для человеческого глаза спектральном диапазоне, и тем самым, позволяя видеть то, что недоступно приборам ночного видения, обычным телекамерам и телекамерам с инфракрасной подсветкой.

Инфракрасное излучение через специализированную, как правило, германиевую оптику попадает на детектор, чувствительные элементы которого меняют свои свойства, вследствие чего изменяется снимаемый с них электрический сигнал. Далее этот сигнал обрабатывается блоком электроники, и информация об излучении преобразуется в вид, понятный человеческому мозгу – выдается псевовидеоизображение тепловой картины, принимаемой приемником.

Основной элемент в тепловизоре, как и в любом другом приборе – это его чувствительный элемент. В тепловизорах – это микроболометр и от качества и характеристик этого элемента будет зависеть конечная способность прибора выполнять свою функцию. Инфракрасное излучение с длиной волны от 7,5 до 14 мкм попадает на материал детектора, нагревая его и тем самым изменяя его электрическое сопротивление, что можно использовать для создания изображения.

Широко известны терморезистивные микроболометры, работающие на принципе изменения сопротивления терморезистора, изготовленного из металла с малым температурным коэффициентом сопротивления (ТКС), или терморезисторов на основе поликристаллических полупроводников с высоким ТКС.

Слой «Терморезистор» в микроболометрической матрице сформирован методом взрывной фотолитографии в слое металлизации на основе титана. Взрывная литография – метод переноса рисунка со слоя фоторезиста на поверхность пластины с помощью нанесения тонкого слоя некоторого материала поверх проявленного рисунка в фоторезисте и последующего удаления фоторезиста. [1] При этом на

поверхности пластины остается только материал, нанесенный на открытые области. Для проведения взрывной фотолитографии используют негативные фоторезисты. Негативные фоторезисты под действием актиничного излучения образуют защищенные участки рельефа. После задубливания (термообработки) в результате реакции фотополимеризации освещенные при экспонировании участки не растворяются в проявителе и остаются на поверхности подложки. При этом рельеф представляет собой негативное изображение элементов фотошаблона. Негативные фоторезисты обеспечивают получение отрицательного наклона профиля проявления, который позволяет воспроизведимо удалять пленку металла, нанесенную посредством термического, электронно-лучевого или другого способа напыления, обеспечивающий направленный поток материала. Этим объясняется использование негативных фоторезистов при проведении взрывной фотолитографии.

Использование взрывной фотолитографии выявило некоторые проблемы:

- остатки фоторезиста по краю металлизации;
- отсутствие контакта между титаном и нижележащим алюминием.

В целях исключения данных дефектов было принято решение формировать микрорисунок в слое титана путем жидкостного травления. В стандартной полупроводниковой технологии жидкостное травление проводят в растворе перекиси водорода и водного аммония. Однако данный раствор не мог использоваться в технологии изготовления микроболометрической матрицы в связи с особенностями структуры схемы изделия. Так же, из-за химической природы титана, маска фоторезиста имеет плохую адгезию к этому слою, что выражается в отслаивании маски фоторезиста и приводит к некачественному травлению слоя металлизации.

При анализе литературы в части химического травления титана было определено, что титан подвергается равномерному травлению в смеси азотной и плавиковой кислот. [2] Так же, в некоторых источниках сказано, что уксусная кислота достаточно равномерно окисляет титан. При подборе различных травителей, используемых в полупроводниковой технологии, был выявлен травитель состава, представленного в таблице 1, взаимодействие с которым могло бы обеспечить равномерное травление слоя титана.[3]

Таблица 1 – Состав экспериментального травителя №1

Кислота	Количество, моль/л
Фтористоводородная (HF)	0,255
Азотная ( $\text{HNO}_3$ )	13,143
Уксусная ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ )	0,957

Для того, чтобы проверить как будет реагировать слой титана на пластине на данный травитель, пластину с распыленным титаном толщиной 100 нм без фоторезистивной маски опустили в ванну с данным травителем. Через 58 с поверхность пластины полностью очистилась от слоя титана.

Следующим этапом контроля травления металлизации в данном травителе было травление слоя титана через маску фоторезиста. При проведении процесса травления, на середине травления наблюдалась деформация маски фоторезиста, не выдержавшей агрессивной среды данного травителя. Это выражалось в растрескивании маски и ее отслаивании. В связи с этим необходимо было снизить агрессивность раствора уменьшением его концентрации.

Опытным путем было выявлено, что для приемлемого травления металлизации и сохранности маски фоторезиста необходимо уменьшить концентрации компонентов раствора. Приготовление данного раствора (травитель №2) проводилось непосредственно в ванне, в которой проходил процесс травления, с добавлением воды в готовый исходный травитель №1.

Таблица 2 – Состав экспериментального травителя №2.

Кислота	Количество, моль/л
Фтористоводородная (HF)	0,2
Азотная ( $\text{HNO}_3$ )	12,048
Уксусная ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ )	1,011

На рисунке 1 представлен внешний вид структуры и результаты измерений размеров элементов до проведения химического травления по маске фоторезиста.

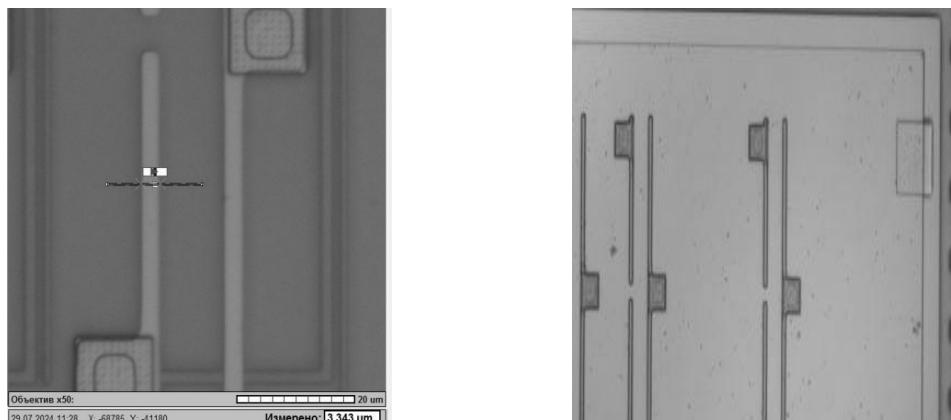


Рис 1 – Внешний вид элементов и их линейные размеры по маске фоторезиста

На рисунке 2 представлен внешний вид структуры после проведения химического травления.

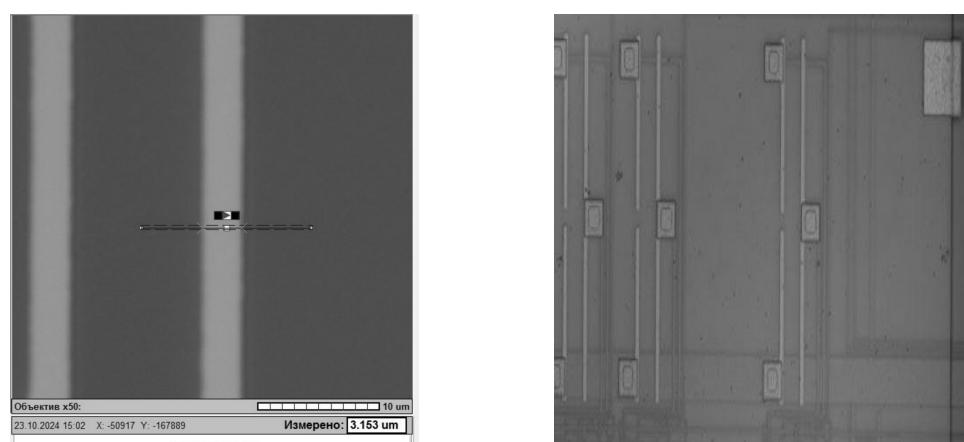


Рис 2 - Внешний вид элементов и их линейные размеры после химического травления

В таблице 3 представлено сравнение размеров контролируемых элементов маске фоторезиста и после химического травления.

Таблица 3 – Результаты замеров размеров элементов после химического травления

Элемент	Термозакороченный резистор
Топологический размер, мкм	4,0
Размер после фотолитографии, мкм	3,343
Размер после травления, мкм	3,153
Уход размера, мкм	-0,19

Процесс жидкостного травления прошел без каких-либо отклонений. При визуальном контроле не было обнаружено остатков фоторезиста по краю металлизации. После химического травления элементы имеют четкий и ровный контур. Такого эффекта удалось добиться полученными опытным путем концентрациями кислот в травителе. Взаимодействие азотной и фтористоводородной кислот травит титан неравномерно. В травитель добавлена уксусная кислота, которая из-за своего химического взаимодействия с титаном, позволила добиться равномерности травления, а именно, ровного контура элемента. Так же, подобранная концентрация травителя позволила сохранить адгезию между маской фоторезиста и слоем титана. Анализируя таблицу 3 видно, что при травлении элемента уход линейного размера составляет 0,19 мкм, что является 5% от размера, полученного по маске фоторезиста. Такой уход линейного размера является более чем удовлетворительным при проведении жидкостного травления. Контроль электрических параметров схемы после проведения химического травления слоя титана показал наличие контакта между титаном и нижележащий алюминием.

В ходе исследования не было выявлено каких-либо дефектов после проведения процесса жидкостного травления, также были решены основные проблемы, возникшие при формировании слоя «Терморезистор» методом взрывной фотолитографии, что подтверждает возможность использования жидкостного травления титана, как метод формирования данного слоя.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Способ взрывной фотолитографии: пат. RU 2610843/ Ламбакшев Алексей Федорович, Котомина Валентина Евгеньевна, Зеленцов Сергей Васильевич, Антонов Иван Николаевич, Горшков Олег Николаевич. Опубл. 16.02.2017.
2. Коррозионное поведение титановых материалов с ультрамелкозернистой структурой / Н. А. Амирханова [и др.] Металлы : научно-технический журнал / Российская академия наук. Институт металлургии и материаловедения им. А. А. Байкова. 2010 №3C. 101-107 ISSN 0869-5733 Библиогр.: с. 106-107 (19 назв.)
3. D.M. Brunette, P. Tengvall, M. Textor, P. Thomsen, Titanium in medicine (Springer Berlin, 2001).