

**А. В. Макарова** – студентка кафедры микро- и нанотехнологий аэрокосмического приборостроения  
**В. П. Ларин** (д-р техн. наук, проф.) – научный руководитель

## ФОТОРЕЗИСТЫ ДЛЯ ВСТРЕЧНО-ШТЫРЕВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СИСТЕМ РАДИОЧАСТОТНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ НА ОСНОВЕ АКУСТОЭЛЕКТРОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ПОВЕРХНОСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛНАХ

Для решения проблем высокоскоростного железнодорожного и автомобильного транспорта на отечественный и зарубежный рынок вводятся системы радиочастотной идентификации (РЧИД) на основе элементов на поверхностных акустических волнах (ПАВ). Входящие в состав систем считыватели и метки предназначены для автоматической идентификации в реальном масштабе времени транспортных средств, и передачи идентификационных кодов в систему автоматического управления (билингую систему учета) для их дальнейшей обработки. Приемо-передающая антенна диапазона СВЧ предназначена для приема и передачи сигналов в диапазоне частоты 2,45 ГГц, что соответствует длине волны, равной 365 нм. В электронной аппаратуре, использующей поверхностные акустические волны, для возбуждения и детектирования этих волн служат встречно-штыревые преобразователи (ВШП). Одной из наиболее распространенных на сегодняшний момент тонкопленочных технологий при создании встречно-штыревых преобразователей является технология «взрывной» фотолитографии (lift-off lithography). Ключевым моментом в технологии «взрывной» фотолитографии являются особенности применяемых фоторезистов. Таким образом, существует задача анализа, выбора и применения разных фоторезистов с целью повышения качества операции «взрыва», которая существенно влияет на требуемые характеристики встречно-штыревых преобразователей изделий на поверхностных акустических волнах.

Технология создания встречно-штыревые преобразователи

ВШП относится к электродному типу преобразователей (рис. 1). На рабочей поверхности пьезоэлектрического кристалла создается жестко соединенная с этой поверхностью решетка штырей из проводящего материала [3].

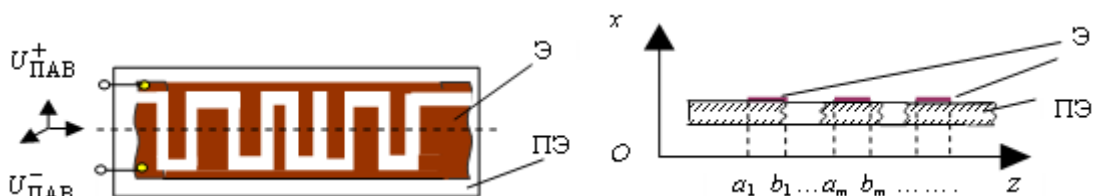


Рис. 1. Встречно-штыревой преобразователь в проекциях на горизонтальную и вертикальную плоскости  
 ПЭ – пьезоэлектрик; Э – электроды ВШП;  $a_m, b_m$  – координаты начала и конца  $m$ -го электрода (по ширине)

Принцип действия (рис. 2) такого преобразователя заключается в следующем: когда на преобразователь 1 подается переменное напряжение, в пьезоэлектрическом материале возникают волны механического сжатия и растяжения с частотой переменного напряжения. В том случае, если расстояние между штырями равняется длине волны, то волны от всех штырей оказываются синфазными, т.е. совпадающими по фазе, и усиливают друг друга, что приводит к возникновению поверхностной акустической волны. Когда волна доходит до электродов 2, она становится причиной возникновения между парой соседних штырей переменного электрического напряжения той же частоты. Колебания напряжения между соседними парами штырей складываются. Поэтому напряжение на выходе оказывается наибольшим в случае совпадения их фаз, т.е. тогда, когда расстояние между штырями соседних пар равняется длине волны [2].

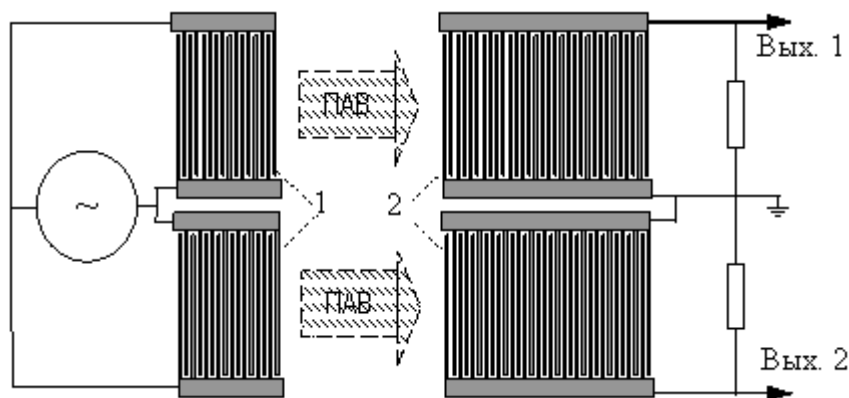


Рис. 2. Принцип действия сенсоров на ПАВ:

- 1 – встречно-штыревые преобразователи электрического сигнала в ПАВ;  
2 – встречно-штыревые преобразователи ПАВ в электрический сигнал

### Технология «взрывной» фотолитографии

Импульсом для распространения технологии «взрывной» фотолитографии явилась необходимость формирования металлических токопроводящих дорожек на полупроводниковых и пьезоэлектрических подложках, где использование химического или плазменного травления является нежелательным или несовместимым с технологией и материалами. Другая причина – обеспечение надежного контроля над размерами элементов, так как при использовании химического травления трудно контролировать, например, ширину металлизированных слоев вследствие подтравливания металла под маской фоторезиста.

ВШП наносят методом фотолитографии на хорошо отполированную поверхность тщательно сориентированного пьезоэлектрического кристалла. В качестве материала для ВШП и отражательных структур используют металлы, такие как: Al, Au, Cu. При подаче на подобные электродные системы электрических колебаний за счет пьезоэффекта материала подложки возникают механические деформации ее поверхности, что в свою очередь ведет к возбуждению акустической поверхностной волны.

В технологии «взрывной» фотолитографии на подложку сначала наносится пленка фоторезиста. После процессов экспонирования и проявления в пленке фоторезиста вскрываются участки, где предполагается осуществить металлизацию подложки. Затем вся поверхность, в том числе поверхность пленки фоторезиста, и вскрытые участки покрываются металлом. Следующей стадией является стадия «взрыва», при которой пленка фоторезиста вместе с осажденным на него материалом удаляется с подложки с помощью подходящего растворителя в специальной ультразвуковой ванне (рис. 3).

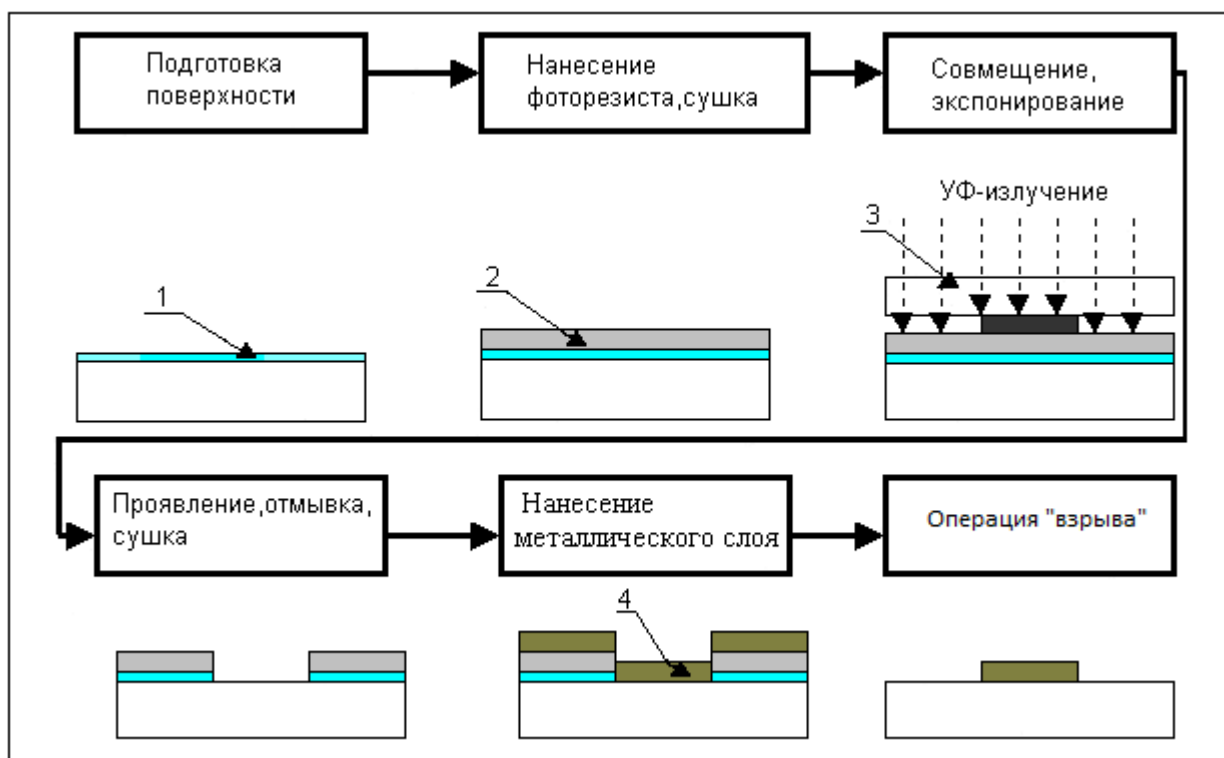


Рис. 3. Схема процесса взрывной фотолитографии  
1 – адгезионный слой; 2 – слой фоторезиста; 3 – фотошаблон; 4 – металлический слой

Разрешение проекционной литографии зависит от длины волны излучения, числовой апертуры, применяемых материалов и многих других факторов. Известно [4], что в стандартной проекционной системе, осуществляющей перенос изображения, фокус объектива ( $f$ ) является функцией диаметра его входного зрачка ( $D$ ). Числовая апертура объектива ( $NA$ ) в среде с показателем преломления  $n$  определяется как  $NA = n \cdot \sin \theta = \frac{D}{2f}$ .

Числовая апертура является очень важным параметром проекционной оптической системы, так как она во многом определяет значения ее разрешения и глубины фокуса. Одним из фундаментальных законов проекционной литографии является критерий Рэля, в соответствии с которым разрешение проекционной системы ( $R$ ) определяется дифракционным пределом:  $R = K_1 \lambda / NA$ , где  $\lambda$  – длина волны экспонирующего излучения;  $NA$  – числовая апертура проекционной системы, а коэффициент  $K_1$  ( $0 < K_1 < 1$ ) определяется уровнем технологии конкретного производства. Необходимо отметить, что на современном этапе развития технологии производства КМОП СБИС минимально достигаемое значение  $K_1 \sim 0,25 - 0,35$ .

Разрешение улучшается при использовании более коротковолнового экспонирующего излучения и объектива с большой числовой апертурой. Однако это приводит к существенному сокращению глубины фокусировки ( $DOF$ ), которая обратно пропорциональна квадрату числовой апертуры [4]:

$$DOF = \pm \lambda K_2 / 2(NA)^2$$

Таблица 1

Сравнительный анализ альтернативных фоторезистов, применяемых в технологии «взрывной» фотолитографии

Характеристики	ФП-05Ф [6]	ФПН-20-ИЗО [6]	AZ5214E [5]	AZ nLof 2000 [5]	S1805 [5]	AZ ECI 3000 [5]
----------------	---------------	-------------------	----------------	---------------------	-----------	--------------------

Разрешающая способность, мкм	0,5	0,8	0,7	0,8	0,5	0,35
Толщина пленки фоторезиста, мкм	0,45-0,60	0,8-1,2	1,14-1,98	2,0-3,5	0,5-0,8	0,5-4,0
Термостойкость, °С	140	145	130	110	115	110
Устойчивость пленки фоторезиста к проявителю, не менее, мин.	25	60	40	50	35	30
Неравномерность толщины пленки, нм, не более	10	10	10	20	15	15
Проявитель	1 % раствор КОН	1 % раствор КОН	AZ 726 MIF	AZ 300 MIF	MF-321	AZ 3000 MIF, 0,5% раствор NaOH

Применение фоторезиста ФП-05Ф в технологии «взрывной» фотолитографии затрудняется из-за положительного наклона профиля стенок, что обусловлено объемным эффектом (рис. 4) и недостаточной толщиной, которая отрицательно сказывается в процессе «взрыва», так как толщина нанесенного металлизированного слоя превышает толщину фоторезистивной маски, что затрудняет процесс проявления и увеличивает количество дефектов топологии.

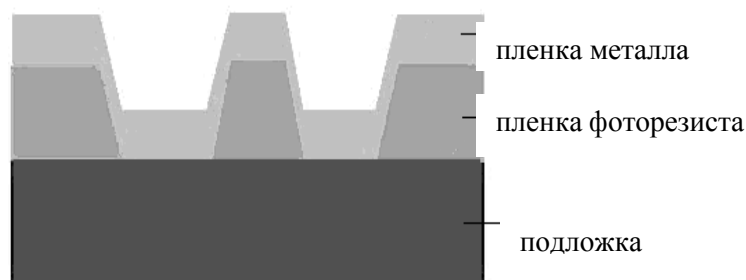


Рис. 4. Образование положительного наклона профиля стенок при использовании положительных фоторезистов

Фоторезисты, представленные в табл. 1, разработаны специально для технологии «взрывной» фотолитографии. При использовании таких фоторезистов устраняется проблема трудности проведения операции «взрыва» даже в тех случаях, когда нанесенного металлизированного слоя превышает толщину фоторезистивной маски и обеспечивается отрицательный наклон профиля стенки (рис. 5).

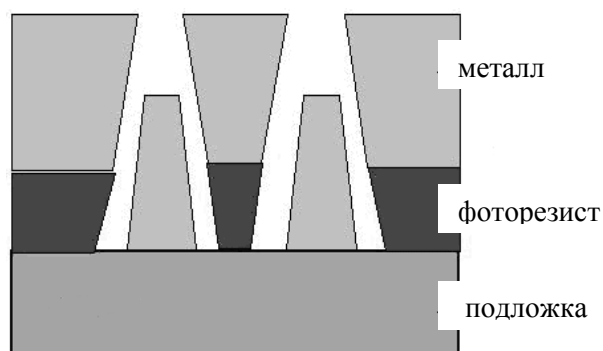


Рис. 5. Толщина металлизированного слоя превышает толщину фоторезистивной маски

Применение фоторезистов ФПН-20-ИЗО, AZ 5214E, AZ nLof 2000 и S1805 затрудняется вследствие их неполного соответствия техническим характеристикам, предъявляемым к фоторезисту ФП-05Ф, дороговизны и применению специальных проявителей в процессе создания требуемой топологии,

их применение затрудняется вследствие невозможности работы с универсальными проявителями, а также специальными условиями эксплуатации.

Технология изготовления систем РЧИД на ПАВ-метках подразумевает разрешающую способность фоторезиста 0,35 мкм и толщину пленки фоторезиста 0,7 мкм. Следовательно, для исследований должен быть выбран позитивный быстрый фоторезист AZ ECI 3000. Он также адаптирован для повсеместного применения, в том числе благодаря своей стоимости.

### Заключение

Попытки решить задачу автоматической идентификации транспорта предпринимаются уже несколько десятилетий. В последние годы все больший интерес вызывают системы идентификации, построенные на базе технологии РЧИД. Уже сегодня представлены РЧИД-приложения для рынка финансовых услуг и обеспечения безопасности, автомобильного и общественного транспорта, небольших магазинов, библиотек, прачечных и медицинских учреждений. Чтобы обеспечивать надежность такой системы, в ходе работы были проведены анализ и сравнение ряда фоторезистов, из которых был выделен фоторезист AZ ECI 3000. Использование данного фоторезиста очень перспективно, поскольку он отвечает всем требованиям, обеспечивающим технологию «взрывной» фотолитографии и работу в целом РЧИД-систем на ПАВ-метках.

### Библиографический список

1. Brian J. Thompson Microlithography. Science and Technology. Taylor & Francis Group, LLC. 2007. P – 846.
2. Дворников А.А., Огурцов В.И., Уткин Г.М. Стабильные генераторы с фильтрами на поверхностных акустических волнах. М: Радио и Связь. 1983. – 136 с.
3. Рычина, Т.А. Устройства функциональной электроники и электрорадиоэлементы / Т.А. Рычина, А.В. Зеленский. – М. : Радио и связь, 1989. – 352 с.
4. В.В. Макаrchук, И.А. Родионов, Ю. Б. Цветков Методы литографии в наноинженерии : учеб. пособие / В. В. Макаrchук, И. А. Родионов, Ю. Б. Цветков. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011. – 176 с. : ил. (Библиотека «Наноинженерия» : в 17 кн. Кн. 9).
5. <http://micromechanical.com/photoresist/photoresists.html>
6. [http://frast.ru/\\_production.html](http://frast.ru/_production.html)