

ОСОБЕННОСТИ ВЫБОРА ТОЛЩИНЫ ФОТОРЕЗИСТА С ЦЕЛЬЮ ОБЕСПЕЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ СТАБИЛЬНОСТИ ПРОЦЕССА ЛИТОГРАФИИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРНЫХ СТРУКТУР

Тищенко Л.А.^{*}, Ковалев А.А.^{**}, Маркин А.В.^{***}

*Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана,
МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2-я Бауманская ул., 5, стр. 1, Москва, 105005, Россия*

^{} e-mail: leonid.tichenko@gmail.com*

*^{**} e-mail: kovalevarta@gmail.com*

*^{***} e-mail: alexandr_markin_22@mail.ru*

Рассмотрена структура проведения экспериментального исследования зависимости дозы энергии излучения, необходимой для полного проявления структур в фоторезисте, от толщины фоторезиста, нанесенного на кремниевые пластины. По результатам исследования проведены оценка и выбор рационального значения толщины фоторезиста с целью обеспечения и повышения стабильности процесса литографии при производстве полупроводниковых приборных структур.

Ключевые слова: фотолитография, фоторезист, энергетическая доза проявления.

Введение

Основной целью процесса фотолитографии является передача двумерного изображения топологии элементов, в частности приборов микроэлектроники, сформированного на кварцевом фотошаблоне, на пластину с нанесенным слоем фоторезиста.

Для наиболее точной передачи топологического рисунка все погрешности в процессе экспонирования и на этапе проявления фоторезиста должны быть сведены к минимуму, что достигается благодаря минимизации отклонения от вертикальности стенок резиста, получаемых после проявления засвеченных областей. При этом в процессе экспонирования необходимо предельно точно задавать значения параметров экспонирования (длина волны, время экспонирования, мощность источника излучения и т.д.).

Одним из основных технологических параметров фоторезиста является доза энергии полного проявления структур в фоторезисте. Данный параметр определяет количество воздействующей на фоторезист энергии, необходимой для полного удаления фоторезиста с определенных областей, определяемых топологией элементов приборных структур. Поскольку свет при прохождении через фоторезист

поглощается, т. е. интенсивность света уменьшается с увеличением глубины фоторезиста, то верхняя часть фоторезиста будет засвечиваться с более высокой энергией падающего излучения. В результате это приводит к более узкому топологическому профилю рисунка в нижней части фоторезиста.

Одно из важнейших явлений, влияющих на образование скрытого изображения, — интерференция излучения в пленке резиста. Падающее на подложку излучение отражается от ее поверхности обратно в пленку резиста, что вследствие интерференции может привести к явлению возникновения стоячих волн, т. е. периодических колебаний амплитуды излучения по глубине пленки. При этом данные колебания приводят к формированию волнообразных стенок профиля топологического рисунка резиста после его проявления (рис. 1).

Образующееся пространственное распределение интенсивности излучения характеризуется наличием максимумов и минимумов на различной глубине резиста в зависимости от толщины слоя фоторезиста, его коэффициента отражения и отражательной способности материала подложки, лежащей под этим слоем фоторезиста.

Интерференция, возникающая в пленке резиста, приводит к неравномерному экспонированию

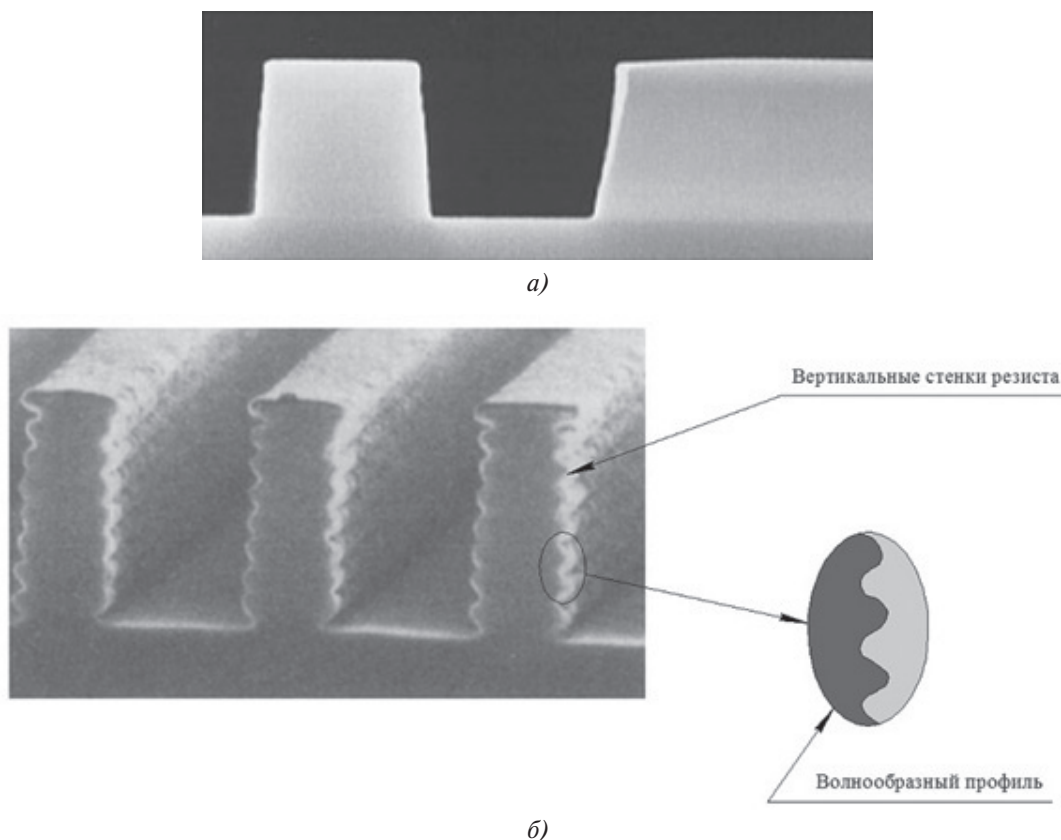


Рис. 1. Стенки профиля топологического рисунка резиста после его проявления: *a* — без влияния колебаний амплитуды излучения; *b* — вследствие влияния колебаний амплитуды излучения

резистивного слоя, что является следствием образования волнообразного профиля после проявления резиста, поскольку в максимумах интенсивности резист проявляется заметно быстрее. На подслоях, имеющих высокое значение коэффициента отражения и низкие показатели коэффициентов преломления и поглощения, эффект неравномерного экспонирования может быть настолько сильным, что проявление слоев резиста, попадающих в минимумы интенсивности, потребует многократного превышения общей дозы экспонирования и приведет в результате к переэкспонированию остальных участков резиста. Кроме того, наличие стоячих волн сильно увеличивает погрешность воспроизведения размеров топологического рисунка. Широко применяемым методом борьбы со стоячими волнами является постэкспозиционная термообработка [1].

Кроме рассмотренного проявления интерференции излучения в пленке резиста, существует также другой класс смежных явлений, который, как правило, рассматривают с помощью так называемых «колебательных кривых» («Swing curve»).

«Swing curve» — это гармоническая зависимость одного из литографических параметров (Critical Dimension (CD) — предельный размер топологии элементов приборных структур; Dose to Clear (E_0) — доза энергии полного проявления структур в

фоторезисте; Reflectivity (R) — отражательная способность кремниевой подложки) от толщины фоторезиста h , которая является следствием изменения отражающей способности подложки, покрытой фоторезистом (рис. 2).

Это явление объясняется действием излучения, приводящего к полимеризации или деструкции фоторезиста.

В случае полимеризации резиста излучение более эффективно поглощается пленкой (коэффициент отражения от структуры минимальный), и E_0 принимает минимальные значения. В случае дест-

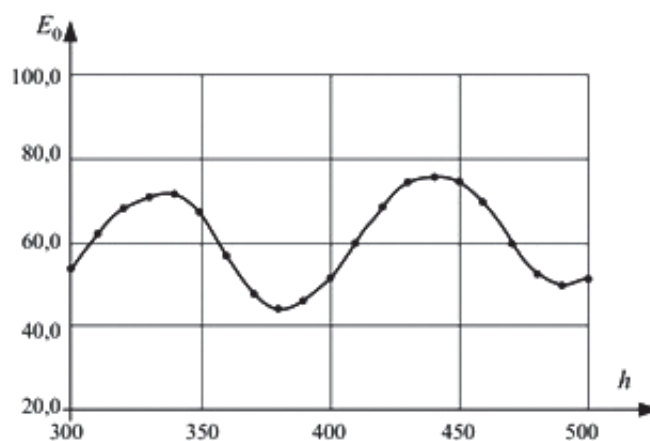


Рис. 2. Гармоническая зависимость E_0 от h

рукции резиста излучение более эффективно отражается от пленки, и E_0 принимает максимальные значения. Таким образом, можно построить и кривую зависимости коэффициента отражения от толщины пленки резиста. Она также будет иметь периодический характер и совпадать по фазе с кривой $E_0(h)$.

Погрешности размеров элементов топологического рисунка, получаемых в пленке резиста, зависят от: а) поглощенной резистом дозы излучения и неравномерности нанесения фоторезиста; б) погрешности литографии на уже существующей топологии; в) колебаний средних значений размеров элементов топологии между пластинами из-за вариативности процесса нанесения резиста [6].

Итоговым результатом данной работы является уменьшение вариативности процесса фотолитографии за счет выбора оптимальной толщины фоторезиста. В работе рассматривается определение зависимости дозы энергии полного проявления структур в фоторезисте E_0 от толщины фоторезиста h , так как определение CD Swing Curve достаточно трудоемко из-за необходимости предельно точного измерения критических размеров топологии элементов приборных структур. Однако известно, что при одних и тех же параметрах экспонирования и процесса в целом все три вышеперечисленные зависимости имеют одну фазу, т. е. экстремумы на графике $E_0(h)$ находятся в тех же точках, что и экстремумы на графике $CD(h)$. Вследствие этого в данной работе рассматривается выбор оптимальной толщины фоторезиста по зависимости $E_0(h)$. Благодаря этой зависимости можно определить рабочие точки (толщины фоторезиста), в которых небольшие изменения толщины фоторезиста приводят к незначительному изменению дозы энергии полного проявления структур в фоторезисте.

Корректное определение рабочих точек необходимо для наиболее точной передачи изображения с фотошаблона на пленку фоторезиста для того, чтобы добиться минимизации отклонения от вертикальности стенок после проявления резиста.

Существует два подхода к решению задачи выбора оптимальной толщины фоторезиста.

В первом случае производят определение рациональных параметров процесса экспонирования по анализу колебательной кривой (рис. 2), выбирая оптимальную рабочую точку (толщину). Если в качестве исходной выбрана толщина, соответствующая одному из наклонных участков кривой, то небольшие ее изменения будут приводить к значительному изменению параметра E_0 , что, в свою очередь, после

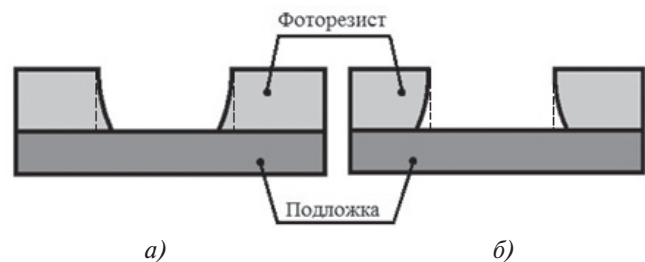


Рис. 3. Профиль получаемого после проявления резиста: а — в случае недопроява; б — в случае подтравы

проявления резиста приведет к дефекту получаемой структуры вследствие подтравы или недопроява (рис. 3). Поэтому рабочие точки (толщины) резиста выбирают либо в максимуме, либо в минимуме дозы энергии полного проявления структур в фоторезисте (экстремумы функции). При выборе толщины резиста, соответствующей этим точкам колебательной кривой, получим значительно меньший диапазон изменения параметра E_0 .

При работе в точках минимума доза энергии минимальна, что приводит к максимальной производительности процесса. Однако любое смещение по кривой увеличивает диапазон изменения параметра E_0 , что приводит к возможному недопрояву и, как следствие, неполному удалению фоторезиста из проявленной области (рис. 3, а).

При работе в точках максимума доза энергии максимальна. Однако в этом случае при смещении из максимума возможна некоторая переэкспозиция вследствие увеличения диапазона изменения параметра E_0 (рис. 3, б).

Во втором случае стараются подавить само явление интерференции, используя дополнительные материалы: нижние (наносимые под слой резиста) и верхние (наносимые на слой резиста) антиотражающие покрытия. Однако данный метод достаточно сложен в реализации. Поэтому здесь рассматривается только первый подход к решению задачи выбора оптимальной толщины фоторезиста.

Таким образом, для решения задачи выбора оптимальной рабочей точки (толщины) фоторезиста необходимо провести экспериментальное исследование зависимости дозы энергии полного проявления структур в фоторезисте E_0 от толщины фоторезиста h .

Алгоритм проведения экспериментального исследования

Для проведения исследования был проделан ряд технологических операций, входящих в состав процесса проекционной литографии. Для эксперимента были взяты тестовые образцы в количестве 33 кремниевых пластин толщиной 460 мкм.

Общую структуру проделанных в ходе эксперимента операций можно описать следующим образом:

1. Подготовка поверхности пластины:
 - дегидратация;
 - гидрофобизация;
 - охлаждение пластины.
2. Нанесение резистивной пленки:
 - нанесение пленки резиста;
 - первая (мягкая) сушка;
 - охлаждение пластины.
3. Получение скрытого изображения в пленке:
 - экспонирование.
4. Проявление скрытого изображения в пленке:
 - постэкспозиционная термообработка;
 - охлаждение пластины;
 - проявление;
 - окончательная сушка (задубливание).

Рассмотрим каждый из процессов более подробно.

Технологические процессы подготовки поверхности пластины, нанесения резистивной пленки и проявление скрытого изображения в пленке были выполнены на установке, называемой «треком» (TEL CLEAN TRACK Mark Vz).

Типовой трек нанесения и проявления резиста состоит из нескольких узлов:

- специальные порты, куда устанавливаются контейнеры с пластинами;
- камеры нанесения антиотражающих покрытий и резистов;
- камеры проявления;
- модуль термической обработки;
- модуль адгезии.

1. Подготовка поверхности пластины.

Целью процессов подготовки поверхности пластины является обеспечение хорошей адгезии пленки резиста к поверхности пластины.

Во время дегидратации пластина нагревалась на герметично закрытой горячей плите в вакууме до температур порядка 150 °С. Гидрофобизация проходила в той же камере. Предварительно пропускаемый через емкость с адгезивом (гексаметилди-силан) сухой азот напускался в камеру. При этом молекулы адгезива разлагались на поверхности разогретой пластины и образовывали на ней пленку, имеющую более низкую поверхностную энергию и гидрофобные свойства. Охлаждение проводилось на холодной плите. При этом пластина охлаждалась до температуры 21 °С.

2. Нанесение пленки фоторезиста на кремниевую пластину.

На первом этапе было проведено непосредственное нанесение на пластину фоторезиста марки SPR700-1.2 центрифугированием. Центрифугирование является одним из широко применяемых в современной микроэлектронной промышленности методов нанесения пленок резистов.

Для получения различных толщин фоторезиста на разных пластинах изменялась скорость вращения пластин (рис. 4). В итоге изменением скорости вращения от 2700 об/мин до 4900 об/мин с определенным интервалом были получены 33 кремниевые пластины с различной толщиной фоторезиста на каждой.

Поскольку после нанесения резиста концентрация растворителя в пленке резиста уменьшается от 70% по объему до 20% по объему, требуется дополнительная сушка резиста на горячей плите для уменьшения концентрации растворителя примерно до 12% по объему. Далее на холодной плите происходило охлаждение пластины.

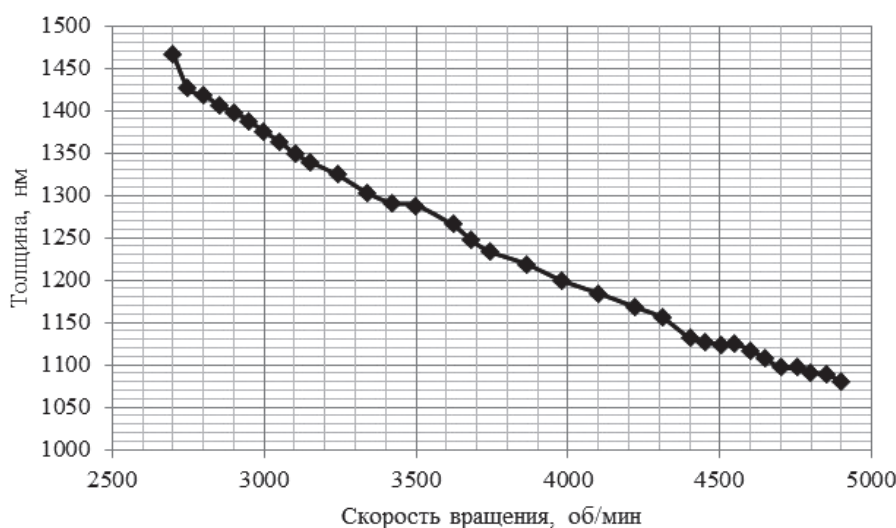


Рис. 4. График зависимости толщины нанесенного слоя резиста от скорости вращения пластин

Важные факторы, влияющие на образование пленки резиста: температуры пластины, резиста и воздуха, влажность воздуха, скорость его потока, омывающего пластину, летучесть растворителя, вязкость смолистой основы резиста и тип поверхности пластины [6].

Измерение толщины фоторезиста после его нанесения на кремниевую подложку было выполнено на установке Эллипсометр М-2000F компании Woolam.

Для наиболее подробного изучения равномерности распределения фоторезиста по поверхности подложки измерение толщины фоторезиста проводилось в 29 точках (рис. 5). Далее из всего массива вычислялось среднее значение толщины.

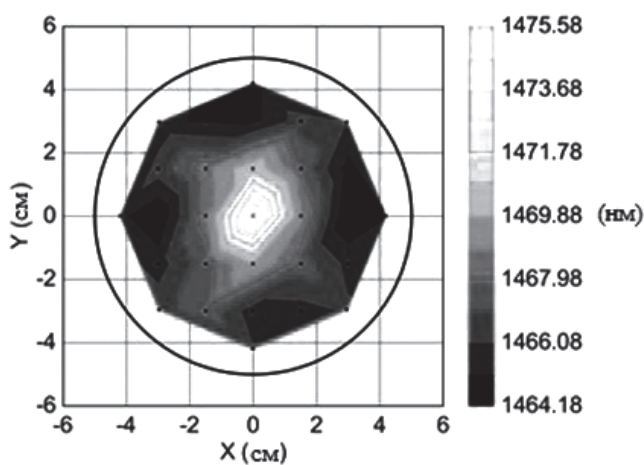


Рис. 5. Диаграмма толщин фоторезиста, измеренных в 29 точках на поверхности пластины

Шкала справа показывает неравномерность распределения фоторезиста по поверхности кремниевой пластины. Установлено, что для данной пластины толщина нанесенного резиста меняется от минимального значения, равного 1464,18 нм, до максимального значения 1475,58 нм. Среднее значение толщины, вычисленное по всем 29 точкам, составляет 1466,8 нм.

3. Формирование в пленке резиста скрытого изображения (экспонирование) посредством проекционной оптики.

Основной целью процесса экспонирования является получение скрытого изображения в пленке фоторезиста посредством его передачи с фотошаблона на пластину с нанесенным фоторезистивным слоем. При этом формируемое изображение должно обладать высокой четкостью (хорошим разрешением и фокусировкой) и полностью совпадать с изображением на шаблоне.

Технологический процесс получения скрытого изображения в пленке резиста выполнялся на ус-

тановке Stepper PAS 5500/275D компании ASML (Голландия). Пластина загружалась из кассеты, размещаемой во входном порту транспортной подсистемы. Перед ее установкой на стол экспонируемая пластина проходила процедуру предварительного совмещения на дополнительном вращающемся столике.

После предварительного совмещения пластина переносилась на координатный стол экспонирования и позиционировалась. Стол экспонирования перемещался по полированной плите на воздушной подушке. Контроль положения стола осуществлялся с помощью лазерных интерферометров. Совмещение шаблона с пластиной осуществлялось с помощью подсистемы совмещения.

Подсистема осветителя включает в себя саму лампу, параболическое зеркало, набор фильтров, а также специальную оптику. Набор линз служит для управления конфигурацией луча, падающего на шаблон.

Установка обеспечивает 5-кратное уменьшение изображения, находящегося на шаблоне. Линзы объектива объединены корпусом, имеющим жесткую герметичную конструкцию. Внутри этого корпуса поддерживается постоянная температура с точностью до 0,01 °С. Объектив заполнен газовой смесью гелия и кислорода. Этим обеспечивается точное значение оптического показателя преломления среды.

Изображение, которое было получено в слое фоторезиста, представляет собой геометрический образ из 21 квадрата со стороной 10 мм (рис. 6).

На установке Stepper PAS 5500/275D задавалась определенная доза [мДж/см²] засвечивания и шаг 2 мДж/см². То есть квадрат, находившийся в центре общего изображения, засвечивался номинальной дозой излучения, которая была непосредственно задана, а в обе стороны от него доза засвечивания изменялась на 2 мДж/см². Такое изменение дозы засвечивания необходимо для того, чтобы

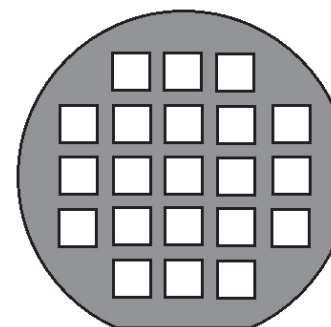


Рис. 6. Изображение, получаемое в процессе экспонирования

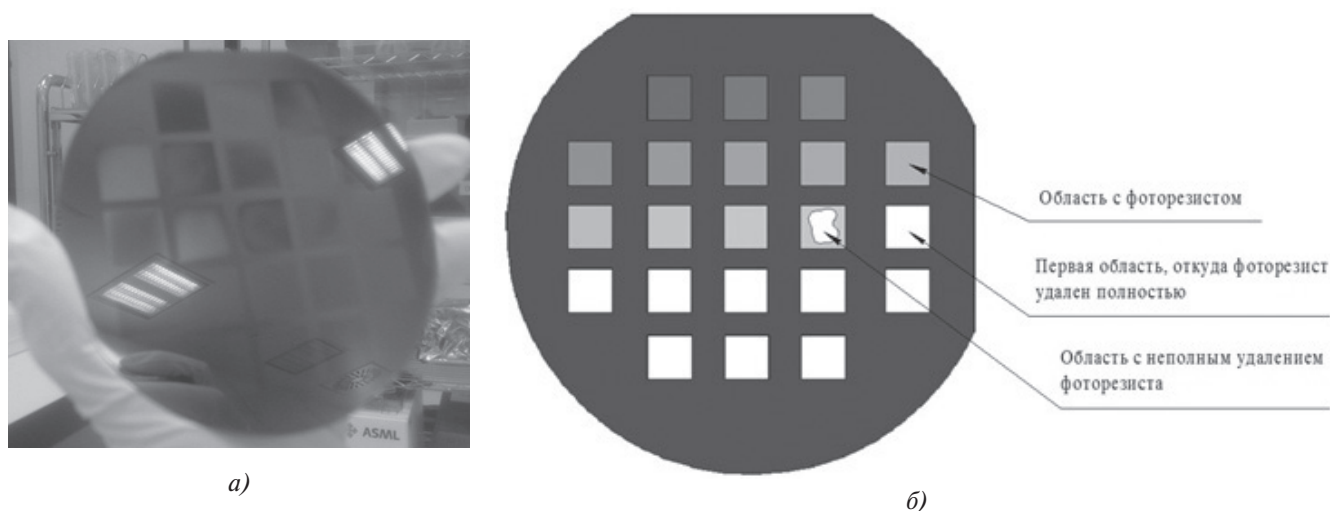


Рис. 7. Полученное после проявления изображение: *а* — фотография пластины; *б* — схематическое изображение пластины

после проявления фоторезиста определить, где он будет удален полностью, а где — частично.

4. Проявление скрытого изображения в пленке.

В процессе постэкспозиционной термообработки (ПЭТ) пластина с нанесенным резистом нагревалась до 110—120 °С. Нагрев до таких температур позволяет решить за счет явления диффузии проблему образования стоячих волн. Поскольку в результате действия интерференции образуются области с различной концентрацией продукта реакции активного компонента с излучением, то повышение температуры приводит к значительному усилению диффузии между такими областями. Диффузия между слоями резиста, лежащими на разной глубине, идет намного быстрее, чем в плоскости пластины. Причиной тому служат высокие градиенты концентрации продукта реакции активного компонента между областями максимума и минимума стоячей волны. За счет такого распределения концентрации можно подобрать режим обработки, при котором заметной деградации изображения еще не возникает, а стоячие волны достаточно эффективно подавляются. Кроме того, во время ПЭТ эффективно удаляются остатки растворителя [7]. После постэкспозиционной термообработки выполнялось охлаждение пластины до комнатной температуры на холодной плите.

Непосредственно процесс проявления проводился на центрифуге, конструктивно схожей с оборудованием нанесения пленки резиста. Заданное количество проявителя (раствор гидроксида тетраметиламмония) подавалось из термостатированной емкости на пластину с помощью струйного сопла или распылителя. Через определенное время проявитель смывался большим количеством деионизованной воды, затем пластина раскручивалась до

значительной скорости. Таким образом происходила предварительная сушка.

Окончательная сушка (задубливание) выполнялась для того, чтобы окончательно убрать остатки растворителя, проявителя и воды из пленки резиста. Типичные температуры этой операции 120-160 градусов Цельсия. После задубливания выполнялось охлаждение пластины до комнатной температуры.

После завершения процесса проявления фоторезиста была получена пластина, изображенная на рис. 7.

По результатам визуального наблюдения установлено, что в некоторых областях фоторезист был удален частично, так как дозы экспонирования для полного его удаления оказалось недостаточно, а в некоторых он был удален полностью.

Далее были определены первый из квадратов, где фоторезист был удален полностью, т. е. тот, где полностью видна кремниевая пластина, и значение энергии излучения, при котором происходило засвечивание данного участка. Полученное значение энергии является дозой энергии излучения, необходимой для полного проявления структур в фоторезисте.

Указанные выше операции (1-4) были выполнены для всех 33 кремниевых пластин толщиной 460 мкм. После измерения толщин резистивной пленки на каждой пластине и определения доз энергии полного проявления структур в фоторезисте был получен массив значений параметров экспонирования фоторезиста (табл. 1).

Таким образом, из полученных результатов значений толщин фоторезиста и доз энергии полного проявления структур был построен график зависимости дозы энергии излучения, необходимой для

Таблица 1

Все задаваемые в ходе эксперимента параметры и полученные результаты

Номер пластины	Скорость вращения пластин, об/мин	Температура в помещении, °С	Относительная влажность воздуха, %	Толщина фоторезиста, нм	Задаваемая доза засвечивания, мДж/см ²	Доза полного проявления структур, мДж/см ²
1	2700	21,6	48,5	1466,82	100	94
2	2750	21,5	47,8	1426,02	90	106
3	2800	21,7	47,5	1418,71	90	108
4	2850	21,6	47,8	1406,73	90	110
5	2900	21,6	48,1	1398,23	90	110
6	2950	21,4	48,5	1388,01	100	106
7	3000	21,3	48,3	1374,86	100	102
8	3050	21,2	47,9	1363,76	100	90
9	3100	21,2	48,2	1349,28	100	88
10	3150	21,2	48,6	1339,73	90	86
11	3240	21,3	47,8	1324,36	100	90
12	3340	20,9	48,1	1302,78	100	104
13	3420	21,1	48,6	1290,94	90	104
14	3500	21,0	48,3	1288,28	90	94
15	3620	21,2	47,8	1265,21	90	88
16	3680	21,3	47,5	1247,76	90	78
17	3740	21,2	47,8	1234,10	90	80
18	3860	21,2	48,1	1219,35	80	86
19	3980	21,3	48,1	1199,60	80	92
20	4100	21,5	47,3	1184,57	80	92
21	4220	21,6	47,8	1168,29	80	86
22	4310	21,4	48,2	1155,80	80	74
23	4400	20,8	47,8	1131,98	70	68
24	4450	20,9	48,3	1128,24	70	68
25	4500	20,9	48,6	1124,24	80	70
26	4550	21,1	48,6	1124,82	80	68
27	4600	21,5	48,1	1117,18	80	74
28	4650	21,3	47,6	1107,86	90	76
29	4700	21,2	47,8	1096,50	80	78
30	4750	21,0	47,4	1096,64	80	78
31	4800	20,9	48,0	1091,39	70	82
32	4850	21,1	48,3	1089,15	70	82
33	4900	21,4	48,1	1080,53	70	82

полного проявления структур в фоторезисте, непосредственно от его толщины (рис. 8).

В полученном графике можно найти рабочие точки по толщине фоторезиста, в которых изменение рассматриваемого параметра (E_0) минимально. Как было описано ранее, данными рабочими точками являются экстремумы полученной кривой.

Данную кривую можно описать уравнением

$$E_0 = Ah + B + (Ch + D) \cos(2\pi h / P + \varphi),$$

где E_0 — доза энергии полного проявления структур в фоторезисте; h — толщина фоторезиста; P — период кривой; φ — начальная фаза кривой;

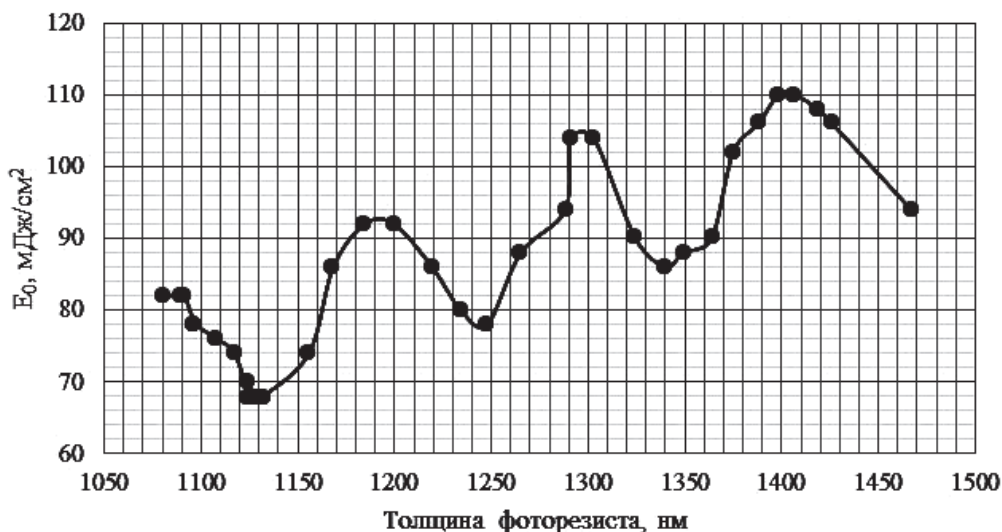


Рис. 8. График зависимости дозы полного проявления структур от толщины фоторезиста, нанесенного на кремниевые пластины

A, B, C, D — коэффициенты, которые вычисляются с помощью метода наименьших квадратов [3].

Далее была произведена аппроксимация полученной кривой с помощью данного уравнения. После нахождения коэффициентов *A, B, C, D*, периода и начальной фазы кривой получили новую кривую, которая является результатом аппроксимации экспериментальной кривой (рис. 9).

Полученные значения параметров, входящих в уравнение:

$$A = 0,085; B = -19; C = -0,000036; D = 11; \\ P = 0,05709; \phi = 1,3956.$$

В итоге на основе экспериментальной кривой зависимости дозы полного проявления структур от толщины фоторезиста была получена аппроксими-

рованная кривая той же зависимости для данной марки фоторезиста. На ее основе можно найти рабочие точки (толщины) фоторезиста, в которых эксперимент не проводился.

Таким образом, с помощью полученной кривой, которая является результатом аппроксимации экспериментальной, можно сразу определить области по толщине фоторезиста, в которых изменение параметра E_0 минимально (табл. 2).

Выводы

Проведено исследование зависимости дозы энергии излучения E_0 , необходимой для полного проявления структур в фоторезисте, от толщины фоторезиста, нанесенного на кремниевые пластины толщиной 460 мкм.

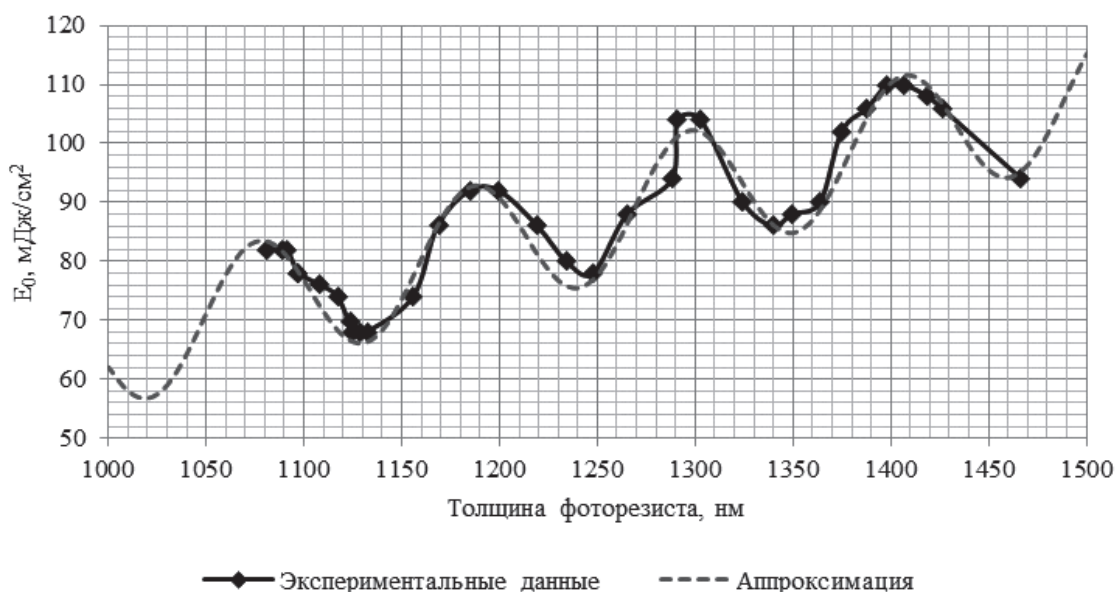


Рис. 9. График зависимости дозы полного проявления структур от толщины фоторезиста, получаемый после аппроксимации экспериментальной кривой

Таблица 2

Значения рациональных параметров, полученных при анализе аппроксимированной кривой (рис. 9)

Номер локального минимума (min) / максимума (max)	Оптимальный параметр	
	Толщина фоторезиста, нм	Доза полного проявления структур, мДж / см ²
1 (min)	1020	56,8
1 (max)	1080	83,5
2 (min)	1130	66,1
2 (max)	1190	92,8
3 (min)	1240	75,5
3 (max)	1300	102,2
4 (min)	1350	84,8
4 (max)	1410	111,6
5 (min)	1460	94,2

После измерения толщин резистивной пленки и определения доз энергии полного проявления структур в фоторезисте для всех 33 пластин был получен массив значений параметров экспонирования фоторезиста.

По полученным в ходе эксперимента результатам был построен график зависимости дозы полного проявления структур E_0 от толщины фоторезиста h , нанесенного на кремниевые пластины.

Было установлено, что данная зависимость является периодической вследствие влияния излучения, приводящего к полимеризации или деструкции фоторезиста. В случае полимеризации излучение более эффективно поглощалось пленкой (коэффициент отражения от структуры оказывался минимальным) и E_0 принимало минимальные значения. В случае деструкции излучение более эффективно отражалось от пленки и E_0 принимало максимальные значения.

По экспериментальной кривой была получена аппроксимированная кривая, по которой определены рабочие точки по толщине фоторезиста. Такими точками являются экстремумы полученной кривой $E_0(h)$. При выборе на оси абсцисс толщин резиста, соответствующих точкам экстремумов колебательной кривой, на оси ординат были получены значения доз полного проявления структур в фоторезисте.

Библиографический список

1. Макаруч В.В., Родионов И.А., Цветков Ю.Б. Методы литографии в нанотехнологии: Учебное пособие. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. — 175 с.
2. Levinson H.J. Principles of Lithography. — Washington: SPIE Optical Engineering Press, 2010. — 504 p.
3. Chris A. Mack, Legband D.A., Jug S. Data Analysis for Photolithography // Microelectronic Engineering. May 1999. Vol. 46. Issues 1-4, pp. 65-68.
4. Chris Mack. Fundamental Principles of Optical Lithography: The Science of Microfabrication. — Austin: Wiley, 2008. — 534 p.
5. Dose-to-clear Swing Curves for Process Optimization. Microlithography Materials and Processes Laboratory (EMCR 676/721). Microelectronic Engineering Department: Rochester Institute of Technology, 4 p.
6. Беднарж Б., Ельцов А.В., Заковал Я., Краличек Я., Юппе Т.А. Светочувствительные полимерные материалы — Л.: Химия, 1985. — 296 с.
7. Задорина Е.Н. Прогностические возможности исследования релаксационной природы термической деструкции полимеров // Вестник Московского авиационного института. 2015. Т. 22. № 3. С. 116-121.

PHOTORESIST THICKNESS SELECTION PECULIARITIES TO ENSURE AND IMPROVE THE LITHOGRAPHY PROCESS STABILITY DURING SEMICONDUCTOR DEVICES STRUCTURES MANUFACTURING

Tischenko L.A.* , Kovalev A.A.** , Markin A.V.***

Bauman State Technical University,
MSTU, 5/1, 2-nd Baumanskaya str., Moscow, 105005, Russia

* e-mail: leonid.tichenko@gmail.com

** e-mail: kovalevarta@gmail.com

*** e-mail: alexandr_markin_22@mail.ru

Abstract

Photolithography is one of the main technological processes for obtaining on a special base a certain topology of various electronic components. The most important thing herewith is minimization of all errors in the course of image transfer from a photomask to the photoresist layer, and at the developing stage. In this case the most accurate image transfer is achieved.

The paper is devoted to a topical problem, namely to the photoresist thickness selection specifics to ensure and improve lithography process stability during semiconductor components structures manufacturing.

The paper describes the experimental study of the dependence of radiation energy (E₀) dose, necessary to full structures' development in photoresist, from the photoresist thickness (h) on the example of SPR700-1.2 photoresist. The energy dose for the structures' full development in photoresist, determining the quantity of energy affecting the photoresist, required for full photoresist elimination from certain areas, determined by components' structures topologies is one of the basic technological parameters of photoresist.

In the course of the study one area per each of 33 silicon wafers were detected, where the photoresist was completely removed. Radiation energy, at which the exposure of these areas was carried out, is an energy dose, necessary for the full structures' development in photoresist. Thus, the plot of energy dose, necessary for full structure development, versus photoresist thickness was obtained.

In the course of mathematical calculation, approximation of experimental harmonic dependence was performed and equation of the given curve was obtained.

Rational operating points (thickness) were determined using the plot obtained while experimental curve approximation. These points represent extremums, since with minimum deviation from the rated value, inherent to the considered operating point, the energy dose for full structure development in photoresist would vary insignificantly.

Thus, nine operating points corresponding to a certain photoresist thickness were obtained as the result of the approximated curve analysis.

The result of experimental study of radiation energy dose dependence from photoresist thickness described in this paper consists in obtaining of a number of recommended photoresist thicknesses, which observing can lead to the most accurate image transfer from photomask to photoresist layer, which, in its turn, will improve lithography process stability during semiconductor components structures manufacturing.

Keywords: photolithography, photoresist, development energy dose.

References

1. Makarchuk V.V., Rodionov I.A., Tsvetkov Yu.B. *Metody litografii v nanoinzhenerii* (Lithography methods in nano-engineering), Moscow, MGTU im. N.E. Bauman, 2011, 175 p.
2. Levinson H.J. *Principles of Lithography*. Washington, SPIE Optical Engineering Press, 2010, 504 p.
3. Chris A. Mack, Legband D.A., Jug S. Data Analysis for Photolithography. *Microelectronic Engineering*. May 1999, vol. 46, issues 1-4, pp. 65-68.
4. Chris Mack. *Fundamental Principles of Optical Lithography: The Science of Microfabrication*. Austin, Wiley, 2008, 534 p.
5. *Dose-to-clear Swing Curves for Process Optimization*. Microlithography Materials and Processes Laboratory (EMCR 676/721). Microelectronic Engineering Department, Rochester Institute of Technology, 4 p.
6. Bednarzh B., El'tsov A.V., Zakoval Ya., Kralichek Ya., Yurre T.A. *Svetochuvstvitel'nye polimernye materialy* (Photosensitive polymeric materials), Leningrad, Khimiya, 1985, 296 p.
7. Zadorina E.N. *Vestnik Moskovskogo aviatsionnogo instituta*, 2015, vol. 22, no. 3, pp. 116-121.