

отверждаемых с помощью различных сшивающих агентов, что позволит улучшить их защитные и эксплуатационные свойства.

Список использованных источников

1. Bonnefond, A. Surfactant-Free Miniemulsion Polymerization of n-BA/S Stabilized by NaMMT: Films with Improved Water Resistance / Bonnefond A., Paulis M., A.F. Bon S., R. Leiza J. // ACS Publications. – 2013. – Vol. 29. – P. 2397–2405.

2. Mekki, S. Novel polymerizable surfactants: synthesis and application in the emulsion polymerization of styrene / S. Mekki, S. Saidi-Besbes, A. Elaissari, J.-P. Valour, A. Derdour // Polymer Journal. 2010. – Vol. 42. – P. 401–405.

3. Бахтина, А.В. Синтез аминсодержащих полимерных микросфер затравочной сополимеризацией для применения в биотехнологии / А.В. Бахтина, А.А. Сиваев, С.М. Левачев, С.А. Гусев, Н.А. Лобанова, М.А. Лазов, И.А. Грицкова // Тонкие химические технологии. – 2017, том 12 № 4. – С. 75–84.

УДК 621.794.4

К. Д. Ленкевич¹, Н. В. Богомазова²

¹ОАО «Электромодуль»

Молодечно, Беларусь

²Белорусский государственный технологический университет

Минск, Беларусь

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ ТРАВЛЕНИЯ СВИНЦОВОГО МАСКИРУЮЩЕГО ПОКРЫТИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ СИЛОВЫХ ДИОДОВ

Аннотация. С использованием полнофакторного эксперимента исследовано влияние температуры, состава и продолжительности обработки на скорость селективного травления свинца в структуре Pb/Ni/Si на этапе разделения кремниевых пластин в производстве силовых диодов. Обоснована возможность увеличения скорости травления на 10% при уменьшении температуры травления от 50 до 40 °С и содержания H₂O₂ с 50 до 37 масс. %.

К. D. Lenkevich¹, N. V. Bogomazova²

¹OJSC "Elektromodul"

Molodechno, Belarus

²Belarusian State Technological University

Minsk, Belarus

INVESTIGATION OF ETCHING MODES OF LEAD MASKING COATING IN PRODUCTION POWER DIODES

Abstract. Using a full-factor experiment, the effect of temperature, composition and duration of treatment on the rate of selective etching of lead in the Pb/Ni/Si structure at the stage of separation of silicon wafers in the production of power diodes was investigated. The possibility of increasing the etching rate by 10% is substantiated, with a decrease in the etching temperature from 50 to 40 °C and the H₂O₂ content from 50 to 37 wt. %.

Все более широкое применение в различных областях науки и техники находят полупроводниковые приборы, в том числе полупроводниковые силовые выпрямительные диоды. Данная работа связана с совершенствованием технологических процессов производства силовых диодов, реализованного в Республике Беларусь по оригинальной технологии на ОАО «Электромодуль». В данной технологии используются инновационные процессы совмещенной встречной диффузии несколькими электроактивными примесями, включая как доноры, так и акцепторы. Еще одной особенностью данной технологии является применение многостадийного технологического блока химико-механического разделения кремниевых пластин на функциональные кристаллы нетрадиционной шестиугольной формы. Такая форма обеспечивает улучшение выходных параметров диода за счёт меньшего количества теневых областей, а также уменьшает вероятность лома пластин при разделении на кристаллы.

Актуальность совершенствования технологии жидкофазного травления планарного защитного слоя свинца в производстве полупроводниковых силовых диодов на этапе химико-механического разделения пластин на функциональные кристаллы связана с продолжающимся поиском путей оптимизации режимов и показателей реализаций технологических процессов, обеспечивающих повышение рабочего напряжения высоковольтных диодов.

Особенностью технологии разделения пластин на шестиугольные функциональные кристаллы является комбинирование операций механической резки и химического травления. Данная технология включает ряд основных технологических операций:

- нанесение микромонтажного слоя Ni на пластину;
- нанесение защитного слоя Pb;
- надрезка пластины на глубину, достаточную для вскрытия *p-n*-перехода;

- 3-D-травление открытого p-n перехода с целью удаления механически нарушенного слоя Si при минимальном снятии фаски;
- заполнение реза органическим компаундом;
- сквозная резка, обеспечивающая окончательное разделение пластин на кристаллы;
- удаление защитной свинцовой маски. (рис. 1).

В эксперименте объектом исследования являлись фрагменты кремниевых пластин марки КЭФ25ТУ48-4-295-82 с нанесёнными на них в производственных условиях двухсторонними микромонтажными слоями химического и гальванического Ni, а также защитными слоями гальванического Pb толщиной 18 мкм (рис.1).

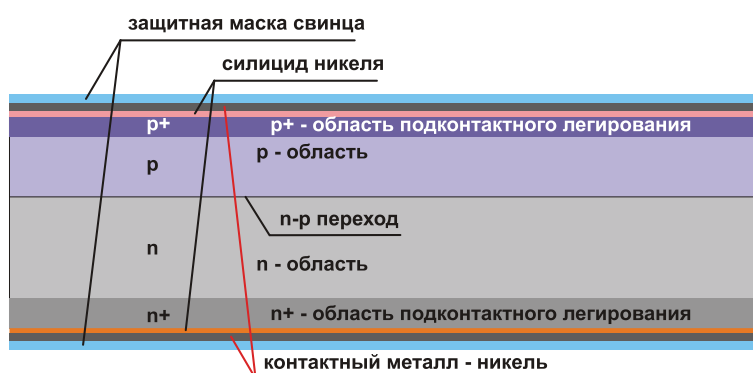


Рис. 1 - Эскиз фрагмента кремниевой пластины перед выполнением блока химико-механического разделения на кристаллы

Химическое растворение свинцового покрытия осуществлялось в перекисно-уксуснокислом растворе в соответствии с химическим уравнением (1) [1].



С целью совершенствования режима кислотного травления защитных свинцовых покрытий было проведено моделирование указанного технологического процесса с использованием статистической модели [2]. В исследовании по влиянию в качестве факторов матричного эксперимента технологических параметров на скорость травления свинца были выбраны:

- 1) температура травления $T_{\text{тр}}$. (с целью изучения возможности её снижения для уменьшения энергоёмкости и опасности операции);
- 2) концентрация окислителя в виде 30%-ного раствора H_2O_2 w (с целью оценки снижения стоимости травителя);
- 3) продолжительность травления τ (с целью повышения производства процесса).

Диапазоны двухуровневого варьирования трех выбранных факторов составили: температура травления ($T_1 = 40 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_2 = 50 \text{ }^\circ\text{C}$); содержание H_2O_2 в травителе ($w_1 = 25$; $w_2 = 50$ об. %); продолжительность травления ($\tau_1 = 1$ мин, $\tau_2 = 1,5$ мин). В качестве выходной переменной выступал ключевой показатель данного процесса – скорость травления ($v_{\text{тр}}$, мкм/мин).

Результаты матричного эксперимента по одностадийному травлению показали, что в течение полутора минут травления средняя скорость процесса составляет не менее 4,3 мкм/мин (таблица 1).

Таблица 1 – Результаты двухуровневого трёхфакторного эксперимента по моделированию процесса травления защитного свинцового покрытия в перекисно-уксуснокислом растворе

$N_{\text{опыта}}$	Температура, $T, \text{ }^\circ\text{C}$	Содержание H_2O_2 (30%), w , об. %	Продолжительность τ , мин	$v_{\text{тр}}$, мкм/мин
1	40 (-1)	25 (-1)	1 (-1)	5,54
2	40 (-1)	25 (-1)	1,5 (+1)	4,30
3	40 (-1)	50 (+1)	1 (-1)	8,18
4	40 (-1)	50 (+1)	1,5 (+1)	7,01
5	50 (+1)	25 (-1)	1 (-1)	8,30
6	50 (+1)	25 (-1)	1,5 (+1)	7,31
7	50 (+1)	50 (+1)	1 (-1)	9,85
8	50 (+1)	50 (+1)	1,5 (+1)	7,96

В результате статистической обработки экспериментальных данных получено адекватное уравнение регрессии (2), которое отражает практически равновеликое влияние двух значимых факторов (температуры T и содержания H_2O_2 w) на скорость травления $v_{\text{тр}}$.

$$v_{\text{тр}} = 7,306 + 1,049 \left(\frac{T-45}{5} \right) + 0,944 \left(\frac{w-37,5}{12,5} \right) \quad (2)$$

Вместе с тем, эксперименты, включавшие более продолжительные процессы травления Pb, показали, что, например, при $T = 40 \text{ }^\circ\text{C}$ и $w = 50$ об. % исходная скорость травления, в течение первой минуты составлявшая 8,18 мкм/мин, уменьшилась почти в 30 раз в течение третьей минуты пошагового травления (рис. 2).

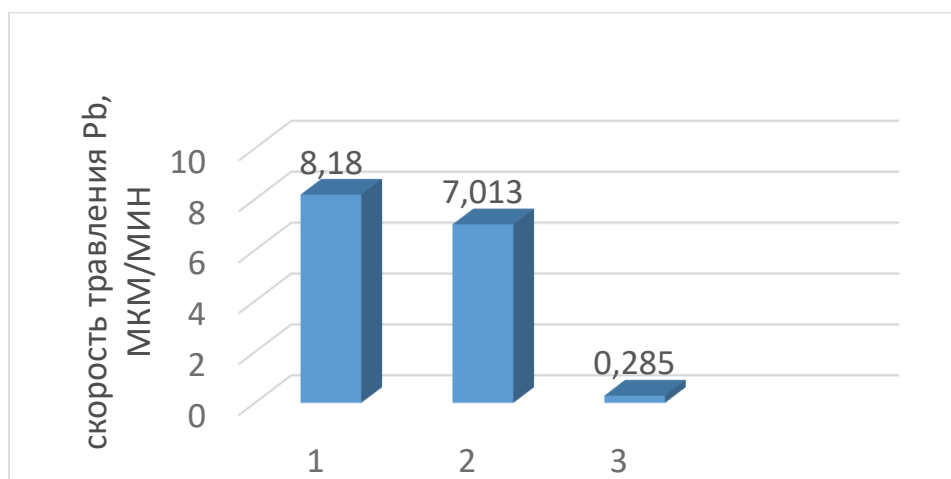


Рис. 2 - Диаграмма изменения скорости травления Pb при ступенчатой обработке (продолжительности шага 1 мин)

Указанная особенность травления Pb в перекисно-уксуснокислом растворе вызывает необходимость проведения двухстадийного процесса травления с активацией травителя после первого этапа путем добавления некоторого количества свежего раствора окислителя в виде 30-% H_2O_2 .

Нами были проведены исследования по влиянию добавления свежего раствора окислителя в виде 30-% H_2O_2 в количестве 10 об. % от исходного объема травителя при температуре 40 °С на скорость травления Pb. Полученные результаты показали (рис. 3), направление влияния добавки свежего раствора окислителя H_2O_2 на скорость травления отличалось для случаев менее ($w_1 = 25$ масс. %) и более ($w_2 = 50$ масс. %) концентрированного раствора.

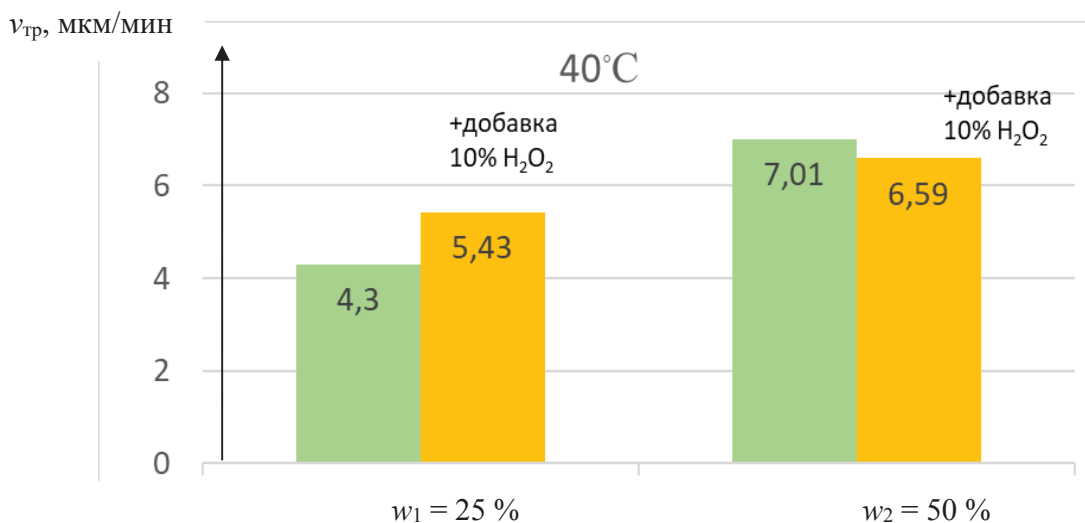


Рис. 3 - Диаграмма изменения скорости травления Pb при добавлении 30-% H_2O_2 объемом 10 % от исходного (продолжительность травления 1,5 мин)

В частности, в случае менее концентрированного раствора активация свежим окислителем позволила увеличить невысокую скорость травления на 26 %. Вместе с тем, добавление такого же объемного количества 30-% H_2O_2 в более концентрированный раствор привело к незначительному уменьшению изначально высокой скорости травления на 6 %.

Таким образом, проведенные исследования процесса травления защитного слоя свинца в производстве полупроводниковых силовых диодов на этапе химико-механического разделения пластин на функциональные кристаллы позволили обосновать необходимость двухстадийной обработки с промежуточной активацией травителя добавлением свежего раствора окислителя в виде 30-% H_2O_2 в количестве 10 об. % от исходного объема травителя, что позволяет согласно уравнению (2) в режиме $T = 40\text{ }^\circ\text{C}$ и $w = 37$ масс. % при незначительном уменьшении исходного объема травителя на 15 % обеспечить среднюю скорость травления 6,45 мкм/мин. Это на 10 % больше, чем в производственном режиме при более высокой температуре $T_2 = 50\text{ }^\circ\text{C}$ и содержании H_2O_2 $w_2 = 50$ масс. %

Список использованных источников

1. Лидин, Р.А. Реакции неорганических веществ: справочник /Р.А. Лидин, В.А. Молочко, Л.Л. Андреева; под. ред. Р.А. Лидина. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Дрофа, 2007. – 637 с.
2. Гартман, Т. Н. Основы компьютерного моделирования химико-технологических процессов: учеб. пособие для вузов / Т. Н. Гартман, Д.В. Клушин. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2006. – 415 с.

УДК 541.124:542.952.6:547.313

В.П. Боуфал, В.М. Варатынский, А.В. Пянко, А.А. Черник
Белорусский государственный технологический университет
Минск, Беларусь

СВОЙСТВА И ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ГАЛЬВАНИЧЕСКОГО СПЛАВА ОЛОВО-НИКЕЛЬ

Аннотация. Сплав олово-никель обладает рядом свойств, благодаря которым находит широкое применение в промышленности. Для получения гальванического сплава олово–никель исследовано влияние плотности тока на микротвердость покрытия. Установлен фазовый состав и коррозионная стойкость данного покрытия.