

Н.Н. Григорьев, М.Ю. Кравецкий, Г.А. Пашенко, С.А. Сыпко, А.В. Фомин

КИНЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЦЕССА БЕСКОНТАКТНОГО ХИМИКО-МЕХАНИЧЕСКОГО ПОЛИРОВАНИЯ ПЛАСТИН

*Институт физики полупроводников НАН Украины,
проспект Науки, 45, Киев-28, 03028, Украина*

Введение. В технологии производства полупроводниковых подложек на финишной и супер-финишной стадиях обработки широко применяется операция химико-механического полирования (ХМП) [1]. После указанных операций для получения поверхности без нарушенного слоя и с сохранением ее высокого качества используют различные методики химико-динамического полирования пластин или разновидность ХМП – бесконтактную безабразивную химико-механическую полировку (БХМП). Существует много литературных источников (например, [1 – 5]), посвященных в основном практическим поискам оптимальных режимов обработки и рецептурам полировальных смесей; значительно меньше работ по изучению механизмов и разработке моделей технологий полирования материалов [6 – 8] в связи со сложностью физических процессов и многообразием технологических приемов полирования.

Ранее [9] нами исследованы закономерности формообразования поверхности при бесконтактном химико-механическом полировании пластин. Настоящая работа продолжает рассмотрение особенностей процесса БХМП и посвящена модельному описанию и экспериментальным исследованиям кинетических особенностей операции.

В процессе операции БХМП на полировальнике находится химически активная жидкость, которая, взаимодействуя с веществом образца, растворяет его, а образующиеся продукты реакции удаляются из зоны обработки. Поскольку полирование осуществляется без контакта между образцом и полировальником, и абразивные частицы в зазор не подаются, нарушенный слой на поверхности образца не образуется.

Обрабатываемая пластина помещается в специальную кассету [10], которая обеспечивает возможность ее свободного движения в вертикальном направлении и ограничивает доступ травящей жидкости к боковой грани образца. Кассета устанавливается на химически инертный плоский полировальник на расстоянии от центра его вращения, намного превышающем линейные размеры образца. На поверхность полировальника непрерывно равномерным слоем подается травильный раствор, уровень которого в процессе обработки поддерживается постоянным.

Отсутствие контакта между материалом и инструментом, сохранение постоянной ширины жидкостного промежутка, заполненного травящей жидкостью, обеспечивается флотационной силой [11], возникающей во время движения инструмента. Ширина зазора, который образуется при операциях БХМП, согласно [9] зависит от скорости взаимного перемещения образца и инструмента, вязкости травильного раствора и при обычно применяемых режимах полирования находится в пределах 3 – 15 мкм.

Модель. Для модельного описания процессов, происходящих при заданных условиях химического формоизменения образцов, жесткий полировальник представим в виде бесконечной плоскости, которая движется поступательно с постоянной скоростью под поверхностью образца конечной длины. На полировальник равномерным слоем налита травильная жидкость с растворенной в

ней активной компонентой. Жидкость вносится полировальником под поверхность образца, и в результате промежутки разделяющий образец и полировальник, целиком заполнен травителем. Вещество полировальника инертно относительно избранного травителя, а растворение образца осуществляется благодаря взаимодействию между активной компонентой травителя и веществом образца.

Процесс бесконтактного химико-механического полирования протекает в узком (порядка нескольких микрометров) промежутке образец – инструмент в условиях прямолинейного движения жидкости и малых числах Рейнольдса ($Re \ll 1$). Эти особенности течения позволяют условно разделить поток жидкости на два неподвижных слоя: один прилипает к полировальнику и движется с ним, другой – к поверхности покоящегося образца. Предполагается, что оба слоя на общей границе скользят один относительно другого без трения и не перемешиваются. Слой травителя, который движется вместе с полировальником, будем называть конвективным (КС), а неподвижный, – прилипший к образцу, – диффузионным слоем (ДС). Ширина промежутка в конечной точке (на выходе) образца поддерживается постоянной и не изменяется в процессе полирования, что является важной особенностью формообразования в нашем эксперименте.

Активная компонента травильной жидкости, находящаяся в конвективном слое, диффундирует в поперечном направлении к диффузионному слою жидкости, затем происходит диффузия реагента через неподвижный слой к поверхности образца и химическое взаимодействие с материалом образца. В результате химической реакции форма поверхности образца изменяется.

Достижение стационарной стадии. Пусть в начальный момент обработки расстояние между полировальником и поверхностью образца одинаково по всей длине образца, то есть поверхности полировальника и образца в исходном состоянии параллельны. Активная компонента раствора расходуется на травление поверхности образца, что приводит к тому, что ее концентрация вдоль образца уменьшается. В результате начальные участки образца травятся быстрее, и расстояние между плоскостью полировальника и образцом начинает изменяться вдоль образца. Жидкостной промежуток в начале образца становится большим, чем в конце, где это расстояние, как отмечено ранее, сохраняется постоянным.

Предполагается, что толщина прилипшего к полировальнику слоя постоянна по всей длине образца. Поэтому более быстрое травление в начале образца приводит к увеличению на входном участке образца толщины диффузионного слоя. Это затрудняет доставку активной компоненты травителя к поверхности образца, что приводит к уменьшению скорости травления в начале образца. В результате в сравнении с предшествующим моментом времени концентрация активной компоненты увеличивается на всех участках жидкостного промежутка. Поскольку величина промежутка в конечной точке образца фиксированная, это приводит к увеличению скорости травления по длине образца. Уменьшение последней в начальных участках образца и ее увеличение вдоль образца будут продолжаться до тех пор, пока скорости не станут одинаковыми. Начиная от этого момента процесс полирования становится стационарным и устанавливается конкретный профиль поверхности. В таком стабильном состоянии любое увеличение расстояния точек профиля от плоскости инструмента (конечная точка фиксирована), например, начальной, приводит в этом месте к уменьшению скорости растворения, и другие точки поверхности растравливаются быстрее. Тем самым восстанавливается постоянная скорость травления по всей поверхности образца.

На рис. 1 приведена схема процесса полирования в стационарных условиях. Полировальник представлен в виде бесконечной плоскости, которая движется с постоянной линейной скоростью U под поверхностью образца бесконечной ширины длиной l . Ось Y направлена перпендикулярно плоскости полировальника и проходит в начале образца вдоль его боковой стенки, ось X расположена в плоскости полировальника и направлена вдоль длинной стороны образца. Точка $x = 0$ находится в начале образца и здесь пересекается с осью Y ; в точке $x = l$, между концом образца и полировальником сохраняется постоянный промежуток величиной 2δ . Предполагается, что в этой точке ширина диффузионного слоя минимальна и равняется ширине конвективного слоя, то есть диффузионный слой заполняет промежуток наполовину. В модели принимается, что боковая поверхность в начале образца закрыта инертной перегородкой, непроницаемой для травителя; подошва перегородки параллельна плоскости полировальника и постоянно находится на расстоянии 2δ от него.

Положим концентрацию активной компоненты раствора на входе в промежуток везде равной c_0 . Вдоль всего образца диффузионный перенос активной компоненты осуществляется только в вертикальном направлении, причем настолько интенсивно, что концентрация реагента в слое, который прилегает к полировальнику (КС), в каждом сечении $x = x_s$ постоянна и изменяется только в горизонтальном направлении. В диффузионном слое, прилегающем к образцу, концентрация в вертикальном

направлении линейно убывает от максимального значения на границе двух слоев к величине c_s на поверхности образца. В нашем случае стационарного полирования скорость растворения образца устанавливается одинаковой вдоль всей его длины, то есть концентрация активной компоненты на поверхности образца везде постоянная: $c_s = \text{const}$.

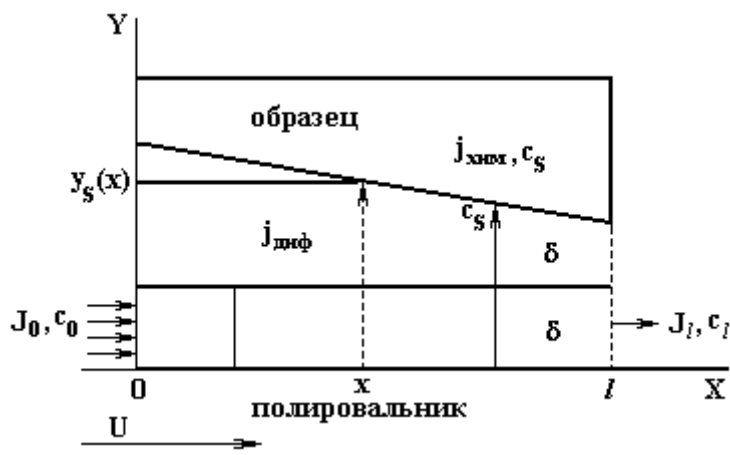


Рис. 1. Схема процесса бесконтактного безабразивного химико-механического полирования

Назовем потоком j активной компоненты раствора массу вещества компоненты, которая проходит через поперечное сечение промежутка в единицу времени. Тогда поток реагента j_0 , вносимого в промежуток между образцом и плоскостью полировальника:

$$j_0 = U\delta \cdot c_0 . \quad (1)$$

При движении вдоль промежутка, который заполнен травителем, реагент расходуется на травление образца, поэтому концентрация его постепенно уменьшается, и на выходе из промежутка она станет равной c_l , а поток реагента, который выносится из промежутка, уменьшится:

$$j_l = U\delta \cdot c_l . \quad (2)$$

В каждой точке x на границе конвективного и диффузионного слоев концентрация травящей компоненты будет изменяться вдоль направления потока жидкости – оси X , то есть зависеть от координаты: $c = c(x)$. В прилегающем к образцу слое концентрация в вертикальном направлении убывает от значения на границе двух слоев $c(x)$ до величины c_s на поверхности образца. Поэтому диффузионный поток реагента к поверхности образца будет равным:

$$j_D = D \frac{c(x) - c_s}{y_s(x) - \delta} , \quad (3)$$

где $y_s(x)$ – расстояние от плоскости полировальника до поверхности образца в точке x .

Активная компонента расходуется на поддержку химической реакции между веществом образца и травящей компонентой. Если предположить константу химической реакции равной k , то тогда поток реагента в точке $j_{хим}$ (химический поток), который расходуется на травление образца

$$j_{хим} = kc_s^n . \quad (4)$$

В общем случае n может быть любым, но в нашей модели будем рассматривать случай реакции первого порядка, то есть показатель степени $n = 1$.

Плотность потока $j_{ст}$, который расходуется на полирование, определим из следующих соображений. На границе конвективного и диффузионного слоев активная компонента травящей жидкости переходит из конвективного слоя в диффузионный, диффундирует к образцу и, достигая его

поверхности, расходуется при создании новой поверхности. В стационарных условиях убыль реагента вдоль оси X равняется диффузионному потоку j_D реагента к поверхности образца в точке x :

$$-U\delta \frac{dc(x)}{dx} = j_D = D \frac{c(x) - c_s}{y_s(x) - \delta}. \quad (5)$$

С другой стороны

$$j_{хим} = kc_s = D \frac{c(x) - c_s}{y_s(x) - \delta}, \quad (6)$$

поэтому

$$y_s(x) = \delta + \frac{D[c(x) - c_s]}{kc_s}. \quad (7)$$

Поскольку в стационарных условиях

$$-U\delta \frac{dc(x)}{dx} = j_{хим} = kc_s, \quad (8)$$

найдем $c(x)$, интегрируя последнее уравнение

$$c(x) = c_0 - \frac{kc_s}{U\delta} x. \quad (9)$$

Величину потока $j_{cm} = j_{хим} = j_D = k \cdot c_s$ находим, интегрируя уравнение (6). Тогда для диффузионного потока в любой точке образца:

$$j_D = \frac{U\delta}{x} \cdot [c_0 - c(x)]. \quad (10)$$

В стационарных условиях в любой точке образца поток одинаковый, поэтому в конце образца, где $x = l$:

$$j_l = j_{cm} = j_D = \frac{U\delta}{l} \cdot (c_0 - c_l). \quad (11)$$

С другой стороны

$$j_D = \frac{D}{\delta} \cdot (c_l - c_s),$$

откуда

$$c_l = c_s + \frac{j_D \delta}{D}.$$

Подставляя выражение для химического потока: $j_{хим} = j_D = k \cdot c_s$, исключаем из этого выражения c_s

$$c_l = \frac{j_{cm}}{k} + \frac{j_{cm} \delta}{D}$$

и

$$j_{cm} = \frac{U\delta}{l} \cdot \left(c_0 - \frac{j_{cm}}{k} - \frac{j_{cm} \delta}{D} \right)$$

Поток реагента, который расходуется на полирование:

$$j_{cm} = \frac{U\delta}{l} c_0 / \left(\frac{1}{k} + \frac{\delta}{D} \right),$$

или, в обратных величинах:

$$\frac{1}{j_{cm}} = \frac{1}{c_0} \left(\frac{l}{U\delta} + \frac{1}{k} + \frac{\delta}{D} \right). \quad (12)$$

Скорость процесса бесконтактного химико-механического полирования. Скорость полирования V определяется как изменение толщины h удаленного при полировании поверхностного слоя образца за время полирования t :

$$V = \frac{dh}{dt}.$$

Установим вид зависимости скорости полирования от плотности потока j_{cm} . Плотность потока $j_{cm} = j_{хим} = j_D$, это масса вещества активной компоненты травителя в объеме всего травителя, проходящая через единичную площадку, которая полностью расходуется на травление образца. Полный диффузионный поток J молекул реагента, которые расходуются на полирование всей поверхности обрабатываемого материала, равен

$$J = j_{cm} \cdot l \cdot d,$$

где l , d – соответственно длина и ширина образца. Положим, что в травителе, содержащем единицу массы реагента, можно максимально растворить β единиц массы вещества обрабатываемого образца. Тогда объем W вещества образца, переходящего в раствор в единицу времени, можно записать в виде

$$\frac{dW}{dt} = J \cdot \frac{\beta}{\rho},$$

где ρ – плотность растворяемого вещества. С другой стороны,

$$\frac{dW}{dt} = l \cdot d \cdot \frac{dh}{dt} = l \cdot d \cdot V,$$

приравнявая выражения

$$l \cdot d \cdot V = J \frac{\beta}{\rho} = j_{cm} \cdot l \cdot d \frac{\beta}{\rho},$$

получаем

$$V = j_{cm} \cdot \frac{\beta}{\rho}. \quad (13)$$

Подставляя полученное выражение для потока (13) в (6), для обратной скорости полирования получим

$$\frac{1}{V} = \frac{\rho l}{U \delta \beta c_0} + \frac{\rho}{k \beta c_0} + \frac{\rho \delta}{D \beta c_0}. \quad (14)$$

Из формулы (14) видно, что зависимость $\frac{1}{V}$ от длины образца l при фиксированных остальных параметрах δ_0 , U_0 , c_0 , β_0 имеет вид прямой линии:

$$\frac{1}{V_{l,\beta C}} = \frac{\rho}{U_0 \delta_0 \beta_0 c_0} \times l + \rho \left(\frac{1}{k \beta_0 c_0} + \frac{\delta_0}{D \beta_0 c_0} \right) = A_1 \times l + B_1. \quad (15)$$

Аналогичный вид имеют зависимости $\frac{1}{V} = f\left(\frac{1}{U}\right)$ (фиксированные значения $\delta_0, l_0, c_0, \beta_0$) и $\frac{1}{V} = f\left(\frac{1}{\beta \times C}\right)$ (фиксированные значения δ_0, U_0, l_0):

$$\frac{1}{V_{l,\beta C}} = \frac{\rho l_0}{\delta_0 \beta_0 c_0} \times \frac{1}{U} + \rho \left(\frac{1}{k \beta_0 c_0} + \frac{\delta_0}{D \beta_0 c_0} \right) = A_2 \times \frac{1}{U} + B_1, \quad (16)$$

$$\frac{1}{V_{l,U}} = \rho \left(\frac{l_0}{U_0 \delta_0} + \frac{1}{k} + \frac{\delta_0}{D} \right) \times \frac{1}{\beta C} = A_3 \times \frac{1}{\beta C}, \quad (17)$$

параметры которых A_1, A_2, A_3, B_1 могут быть найдены путем сопоставления выражений (15) – (17) с экспериментальными данными.

Методика и результаты эксперимента. Для проверки адекватности модели нами проведены исследования зависимости скорости БХМП подложек InSb и NaCl от длины кристалла l , концентрации активной компоненты травящей жидкости C и скорости вращения полировальника U . Обрабатываемые пластины прямоугольного сечения $2,0 \times 2,0$ см² монтировались по центру цилиндрической кассеты без зазора по краям, [9]. Кассета располагалась на полировальнике таким образом, что передняя грань образца всегда была перпендикулярна направлению движения полировальника. Во время эксперимента на полировальник непрерывно подавалась травильная жидкость, покрывающая его поверхность сплошным слоем. Диаметр плоской подошвы кассеты значительно превышал размер образца. Течение жидкости в зазоре при используемых скоростях вращения полировальника являлось ламинарным. Кассета устанавливалась на расстоянии 30 см от центра вращения полировальника, поэтому движение жидкости в месте расположения образца можно считать прямолинейным. Для полирования подложек NaCl применяли раствор воды в этаноле; величину съема за единицу времени определяли после каждой операции полирования по профилограммам (профилограф–профилометр мод. 252), и с помощью часового индикатора с точностью до 1 мкм. Измерения проводились в пяти фиксированных точках образца (по две боковые точки на входе и выходе и центральная точка) в условиях, когда процесс полирования достигал стационарной стадии [9]. Полученные значения величины съема для каждой операции усреднялись.

Величины коэффициентов β найдены экспериментально для каждой исследуемой концентрации активной компоненты травителя. В исследуемой области в зависимости от концентрации активной компоненты, значения β изменялись по линейному закону (рис. 2). Плотность ρ для NaCl и коэффициент диффузии D воды в этаноле принимали $\rho = 2,161$ г/см³, $D = 1,5 \cdot 10^{-5}$ см²/с [12].

Экспериментальные зависимости $1/V_{U,\beta C}^* = f(l)$ (здесь $U_0 = 10$ см/с, $C_0 = 0,2$ г/см³, $\beta_0 = 0,029$) и $1/V_{U,\beta C}^* = f(l) \times 10^4$, ($l_0 = 2$ см и те же значения C_0 и β_0), приведены соответственно на рис. 3 и 4. В обоих случаях экспериментальные точки хорошо укладываются на прямые линии (пунктир (рис. 2)), в соответствии с полученными теоретическими выражениями (15), (16). Экспериментальная зависимость $\frac{1}{V_{U,\beta C}^*} = A_1 \times l \times B_1$ (рис. 3) имеет наклон $A_1 = 3,44 \cdot 10^4$ с/см². Наклон прямой на

рис. 4 $\frac{1}{V_{U,\beta C}^*} = A_2 \times \frac{1}{U} \times B_1$, $A_2 = 1,01 \cdot 10^6$.

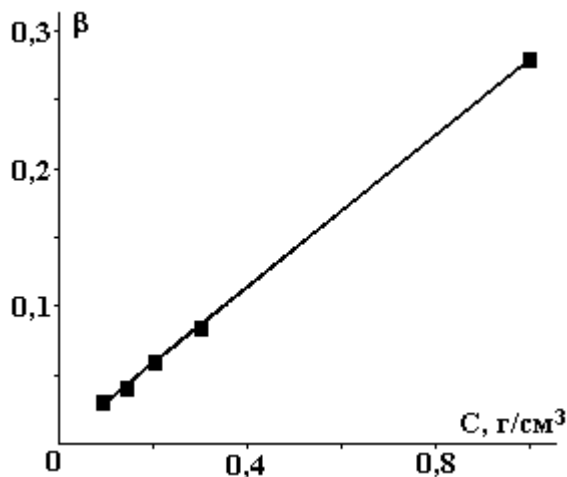


Рис. 2. Зависимость параметра β от концентрации воды в этаноле

На рис. 5 приведена экспериментальная зависимость скорости полирования от концентрации воды в этаноле: $\frac{1}{V_{l,U}^*} = f\left(\frac{1}{\beta \times C}\right)$ (здесь $U_0 = 10$ см/с, длина образца $l_0 = 2,0$ см; интервал изменения массовой концентрации C воды в спирте составлял $0,1 - 1,0$ г/см³). Как видно из рис. 5, указанную зависимость можно, в пределах ошибки эксперимента, представить в виде прямой $\frac{1}{V_{l,U}^*} = A_3 \times \frac{1}{\beta \times C}$ с наклоном $A_3 \approx 630$ с·г/см⁴.

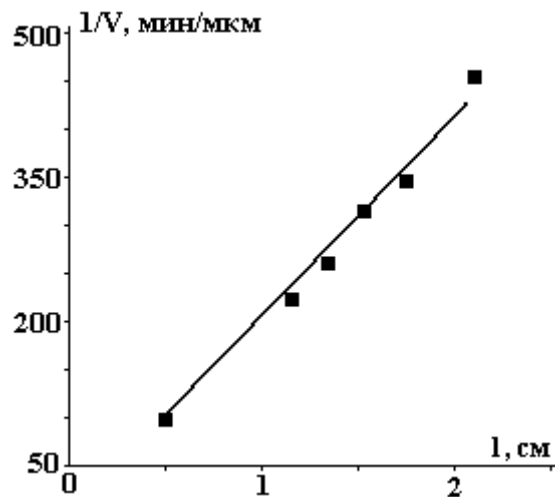


Рис. 3. Зависимость обратной скорости полирования образцов NaCl от длины образца. Скорость движения полировальника, $U = 10$ см/с; концентрация воды в эталоне $C = 0,2$ г/см³

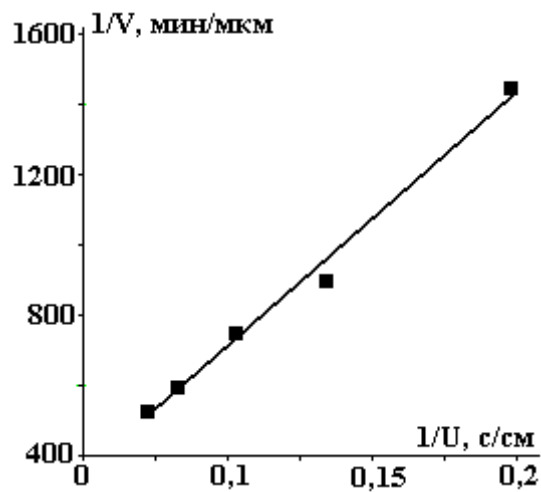


Рис. 4. Зависимость обратной скорости полирования пластин NaCl от скорости движения полировальника ($C = 0,2$ г/см³)

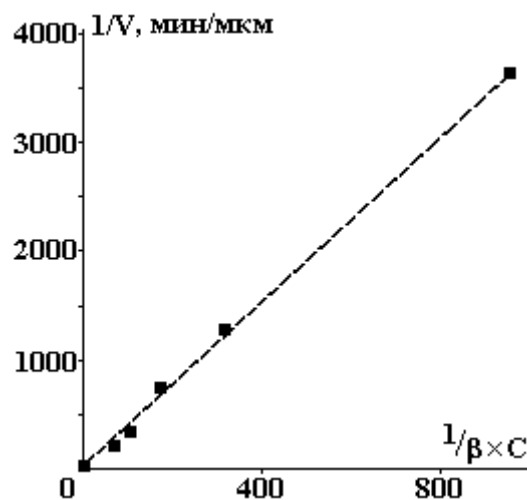


Рис. 5. Зависимость обратной скорости полирования пластин NaCl $1/V$ от $1/(\beta \times C)$. Скорость вращения полировальника $U = 10$ см/с, $l = 2$ см

Полученные экспериментальные зависимости совпадают с теоретическими (15), (16), (17) если положить

$$A_1 = \frac{\rho}{U_0 \delta_0 \beta_0 c_0}; \quad (18)$$

$$A_2 = \frac{\rho l_0}{\delta_0 \beta_0 c_0}; \quad (19)$$

$$B_1 = \rho \left(\frac{1}{k \beta_0 c_0} + \frac{\delta_0}{D \beta_0 c_0} \right). \quad (20)$$

$$A_3 = \rho \left(\frac{l_0}{U_0 \delta_0} + \frac{1}{k} + \frac{\delta_0}{D} \right). \quad (21)$$

Используя (18), (19), можно определить толщину слоев травящей жидкости δ_0 которые прилегают к полировальнику и образцу. В таблице приведены значения промежутка δ_0 между обрабатываемой пластиной и полировальником, полученные по наклону экспериментальных зависимостей (рис. 3 – 5) – $\delta_{l_{\text{экс}}}$, $\delta_{U_{\text{экс}}}$, $\delta_{c \times \beta_{\text{экс}}}$ соответственно и теоретические – $\delta_{l_{\text{теор}}}$, $\delta_{U_{\text{теор}}}$, $\delta_{c \times \beta_{\text{теор}}}$, рассчитанные из (14) по пяти экспериментальным точкам. (Оценки показывают, что в наших экспериментальных условиях химический член значительно меньше конвективного и диффузионного, то есть: $\frac{1}{k} \ll \frac{l_0}{U_0 \delta_0}$ и $\frac{\delta_0}{D}$; поэтому в расчетах им можно пренебречь). Из таблицы видно, что значения $\delta_{\text{экс}}$ и

$\delta_{\text{теор}}$ в разных экспериментах достаточно хорошо согласуются друг с другом; величины конвективного и диффузионного слоев составляют 7 – 9 мкм. Теоретическая зависимость (14) и экспериментальные данные по концентрационной зависимости $\frac{1}{V_{l,u}^*} = f\left(\frac{1}{\beta \times C}\right)$ (рис. 5) дают два значения δ ; меньшее из которых приведено в таблице. Обсуждение физического смысла указанной двужначности, будет предметом последующих работ.

Величины промежутка δ_0 , мкм, между обрабатываемой пластиной и полировальником, вычисленные по наклону ($\delta_{\text{экс}}$) экспериментальных зависимостей (рис. 3 – 5), и вычисленные ($\delta_{\text{теор}}$) по формуле (14)

$\delta_{l_{\text{экс}}}$, (рис. 3)	$\delta_{l_{\text{теор}}}$	$\delta_{U_{\text{экс}}}$, (рис. 4)	$\delta_{U_{\text{теор}}}$	$\delta_{\frac{1}{c \times \beta_{\text{экс}}}}$ (рис. 5)	$\delta_{\frac{1}{c \times \beta_{\text{теор}}}}$
6,5	5,8	8,5	6,5	8,6	8,2
	6,8		7,6		7,3
	6,6		7,1		9,7
	7,6		7,5		8,6
	7,9		7,6		8,1
	среднее – 6,9		среднее – 7,2		среднее – 8,3

Прямое определение величины жидкостного промежутка, проведенное в подобных экспериментальных условиях [9], дает величину $\delta_{\text{экс}} \sim 6$ мкм.

Выводы. Предложена физическая модель, которая описывает процессы, происходящие при бесконтактном безабразивном химико-механическом полировании; на ее основе получено аналитическое выражение зависимости скорости полирования пластин от основных параметров процесса.

Скорость обработки зависит как от свойств полировальной жидкости – концентрации активного компонента c , его коэффициента диффузии D ; характеристик химической реакции – константы химической реакции k , способности к химическому взаимодействию β веществ образца и раствора;

свойств образца – плотности обрабатываемого вещества ρ , так и от условий обработки – скорости движения полировальника, длины образца, величины жидкостного промежутка.

Сравнение экспериментальных и теоретических зависимостей на примере полирования монокристаллических пластин NaCl показало, что они хорошо согласуются. Их количественное совпадение имеет место при реальных значениях коэффициента диффузии D и величины промежутка δ без использования подгоночных параметров. Это свидетельствует о правильности модели и позволяет прогнозировать величину скорости полирования обрабатываемого образца подбором скорости вращения полировальника, вязкости растворителя, концентрации активной компоненты, вида химической реакции.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Перевоицков В. А., Скупов В. Д.* Особенности абразивной и химической обработки поверхности полупроводников. Нижний Новгород, 1992.
2. *Карбань В. И., Рогов В. В., Хофман Х. и др.* Обработка полупроводниковых материалов. Киев, 1982.
3. *Луфт Б. Д., Перевоицков В. А., Возмилова Л. Н. и др.* Физико-химические методы обработки поверхности полупроводников. М., 1982.
4. *Карбань В. И., Борзаков Ю. И.* Обработка монокристаллов в микроэлектронике. М., 1988.
5. *Панина М. А., Назарова Л. Б., Мелев В. П.* Влияние механической обработки на дефектность арсенида галлия // *Поверхность. Физика. Химия. Механика.* 1988. № 8. С. 142–144.
6. *Roger C., Raer L., Filipossian A.* Analysis of Flow between a water and pedduring CMP processes // *J. of Electronic Materials.* 1998. V. 27. № 10. P. 1082 –1087.
7. *Zabasajia I., Merchant T., Belinda N., Green D.* Modeling and characterization of Tungsten chemical and mechanical polishing processes // *J. of Electrochem.Soc.* 2001. V. 148. № 2. P. 673 – 677.
8. *Steigerward I. M., Murarka S. P., Gutwan R. I.* Chemical mechanical planarization of microelectron materials. Part I. New York: Wiley and Sons., 1997. 276 p.
9. *Григорьев Н. Н., Кравецкий М. Ю., Пащенко Г. А., Сыпко С. А.* Закономерности формообразования поверхности при бесконтактном химико-механическом полировании пластин // *Электронная обработка материалов.* 2002. № 6. С. 12 – 17.
10. *Венгель П. Ф., Панчук О. О., Фомин А. В.* Кассета для обработки плоских поверхностей деталей // *А. с. СССР № 1792060.*
11. *Шлихтинг Г.* Теория пограничного слоя. М., 1974.
12. *Краткий справочник физико-химических величин.* Под ред. А. А. Равделя, М., 1983.

Поступила 25.07.03

Summary

The physical model for the non-contact chemo-mechanical polishing operations which are used in a process of manufacture of substructures was developed. The analytical expressions which are connecting geometry and a velocity of treatment of a formed surface to physical parameters of flowing past processes were obtained. The velocity of treatment essentially depends on concentration of an active component of etchant, type of chemical reaction, physical properties of the sample and etchant. The comparison of experimental relationships of treated NaCl samples with theoretical expressions has shown their qualitative and good quantitative co-ordination. It allows to use conclusions of work for development an etchant and choice of optimum technological conditions for the operations of non-contact treatment of samples during manufacturing of substructures from semiconducting and ionic materials.