

рядковых конструктивных единиц (ошибка параллельного переноса).

Младшие конструктивные единицы отличаются неразличимостью (без счета), например, контакт в разъеме, так как размеры последнего не позволяют его маркировать (то есть поставить ему в соответствие определенное порядковое число). Множеству младших конструктивных единиц присуща ошибка счета. Основной ее причиной является ошибка в выборе контакта начального отсчета и пропуск контакта в процессе счета из-за наслоений монтажа. В первом случае накрутку (пайку) делают на контакт — два выше искомого, во втором — ниже.

Поиск контакта сопровождается счетом. Следовательно, оператору приходится выполнять „линейные измерения” монтажного поля для того, чтобы найти на нем установленную таблицей соединений точку. Отсюда можно ввести ошибку поиска аналогичную ошибке измерения.

Модели случайных ошибок измерения могут быть положены в основу механизма ошибок поиска. Так можно говорить о распределении случайных ошибок поиска, его центре и рассеивании. Центром распределения является заданный контакт, то есть контакт поиска.

Существуют два технологических дефекта монтажа. Это внутренний обрыв проводника и перетертый (передавленный) провод. Дефект монтажа „обрыв” влечет неисправность „недостающая связь”. Технологический дефект „перетертая связь” обусловлен тем, что изоляция проводника, соединяющая два штыря одной цепи, может быть перерезана острым краем штыря другой цепи. В результате между двумя цепями появится короткое замыкание, что ведет к неисправности «лишняя связь» [2].

Неисправности типа «пропуск вершины», «пропуск ребра», «параллельный перенос», «обрыв» можно отследить при проверке нескольких цепей одновременно, если при формировании групп использовать цепи, не содержащие узлов в одинаковых столбцах. Если ввести контроль двойной ошибки (вероятность такой ошибки стремится к нулю, так как это вероятность того, что две заданные цепи будут иметь ошибку параллельного переноса в двух соседних столбцах контактов), то следует избегать включения в одну группу цепей, содержащих узлы в соседних столбцах и в соответствующих столбцах соседних старших конструктивных единиц. Например, если цепь имеет узлы в 2, 5, 12, 17... столбцах, то в группу с ней не могут попасть цепи с узлами в 1, 2, 3, 4, 5, 6, 11, 12, 13, 16, 17, 18... столбцах.

Аналогично дело обстоит и с контролем на ошибку счета (смещение узла цепи по столбцу) — в группу не могут войти цепи, содержащие узлы на соседних строках матрицы контактов и на соответствующих строках соседних старших

конструктивных единиц. Только в отличие от предыдущего, цепи могут иметь узлы на одинаковых строках. Например, цепь с узлами в 3, 6, 15... строках, не группируется с цепями, содержащими узлы на 1, 2, 4, 5, 7, 8, 13, 14, 16, 17... строках (с учетом двойной ошибки).

Если проводить контроль перетертых связей, то это может существенно увеличить количество проверок, а вместе с тем и время выполнения процедуры контроля, так как для учета такой ошибки условия объединения цепей в группы становятся более жесткими, а это ведет к увеличению количества групп. Если цепь имеет первый (по столбцам) узел на 20-ом столбце, а последний — на 100-ом, то в результате перетертой связи может возникнуть новый узел на размахе адресов столбцов — 20...100. И чтобы его обнаружить, нужно не группировать с этой цепью какие-либо другие, имеющие узлы на столбцах 20...100.

Таким образом, в группы включаются цепи, вероятность совместной ошибки в которых ничтожно мала и ею можно пренебречь. Определение таких цепей выполняется на ЭВМ перед формированием тестовых воздействий.

На этапе формирования групп может возникать ситуация, когда какую-либо из цепей нельзя отнести ни к одной группе — создается новая группа, куда попадает данная цепь, либо когда цепь можно отнести к нескольким существующим группам. В этом случае стратегия выбора группы или создания новой может оказать влияние на эффективность разбиения множества цепей на группы, что в конечном итоге уменьшит количество групп для тестового контроля. Наиболее простые стратегии — выбор группы с наименьшим суммарным количеством узлов (обеспечивает равномерное заполнение групп и высокое качество контроля) либо выбор наиболее заполненной группы (ведет к большей плотности заполнения групп — меньшему конечному количеству групп, но порождает несбалансированные группы — снижает качество контроля).

Изложенный метод позволяет на порядок ускорить процедуру автоматического контроля монтажа для монтажного поля больших размеров (несколько тысяч контактов), содержащего цепи с небольшим коэффициентом разветвления (до десяти узлов в цепи). Количество групп для конкретного монтажного поля будет зависеть от его размеров, конфигурации цепей и выбранного алгоритма группировки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шуть В. Н. Тестовый контроль электрического монтажа. — «Вопросы радиоэлектроники». — 1981. — №14.
2. Шуть В. Н. Диагностика электрического монтажа. — «Вопросы радиоэлектроники». — 1982. — №12.

УДК 621.382.049.77

Дереченник С.С., Мороз О.В.

СТОХАСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МИКРОРЕЛЬЕФА ТОНКОПЛЕНОЧНОЙ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛ-КРЕМНИЙ

ВВЕДЕНИЕ

Математическое моделирование технологических процессов и приборов играет большую роль в микроэлектронике, так как позволяет оптимизировать конструкции и технологии

элементов изделий электронной техники с меньшими затратами на натурные эксперименты. Развитие технологии сверх- и ультра больших интегральных схем (СБИС и УБИС) усиливает взаимосвязь между эксплуатационными свойствами из-

Дереченник Станислав Станиславович. К. т. н., доцент, зав. каф. ЭВМ и системы Брестского государственного технического университета. e-mail: dss@brpi.unibel.by.

Мороз Олег Васильевич. К. ф.-м. н., доцент, доцент каф. ЭВМ и системы Брестского государственного технического университета. e-mail: mov@brpi.unibel.by.

Беларусь, БГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская 267, тел. 0162-421081.

делей, электрофизическими характеристиками элементов и технологическими режимами их изготовления, что обуславливает постоянное развитие методов и средств моделирования.

Современная планарная микроэлектронная технология базируется, в основном, на процессах нанесения, удаления и модификации свойств полупроводниковых, проводящих и диэлектрических пленок (слоев материала) на сложной микрорегетерогенной структуре – подложке. Известные модели технологических процессов основываются, как правило, на классических представлениях о физической природе явлений – равновесных термодинамике и химической кинетике, линейных дифференциальных соотношениях тепло- и массопереноса. Развитие моделей в плане повышения их адекватности, точности и скорости расчетов осуществляется, в основном, по пути усовершенствования численных методов решения систем дифференциальных уравнений (оптимизация кучочно-линейного пространственного разбиения, уменьшения шага временной дискретизации и т.д.), а также увеличения числа влияющих факторов (усложнения систем уравнений). Вероятностный характер поведения микрочастиц учитывается, обычно, лишь в моделях некоторых процессов, – например, ионной имплантации. Особенности протекания процессов в сильно неравновесных условиях (при высоких градиентах температур и концентраций, на межфазных границах раздела), – например, вероятностный характер зародышеобразования, спонтанный рост новой фазы и др. – при моделировании, как правило, не учитываются [1].

Элементы СБИС и УБИС имеют микронные и субмикронные топологические размеры, а толщины их функциональных слоев зачастую не превышают десятков или даже нескольких единиц нанометров (десять атомных слоев материала). В этом случае, уже недостаточно принимать во внимание только такие факторы, как материал, метод и режимы формирования пленок, конфигурация и рельеф нижележащей структуры (подложки). Электрофизические свойства сверхтонких пленок в огромной степени зависят от состояния поверхности подложки и границы раздела пленка-подложка. В большинстве методов создания тонких пленок, – например, испарении, распылении или химическом осаждении из газовой фазы, – микроскопические свойства поверхности (химическая чистота, степень совершенства кристаллической структуры, качество микрорельефа, зарядовые состояния) имеют решающее значение не только на начальных стадиях формирования, но и при последующем росте тонкой пленки. Эти факторы, в конечном счете, предопределяют морфологию и структуру, а, следовательно, свойства и качество тонкопленочных элементов.

Становится очевидным, что возможности класса детерминированных линейных моделей для адекватного описания технологических процессов современной микроэлектроники, несмотря на бурный прогресс технических средств моделирования, практически исчерпаны. Желание достаточно полного и адекватного описания множества сложных физико-химических процессов, происходящих при формировании тонких и сверхтонких пленок, обуславливает необходимость разработки математических моделей более высокого уровня. Такие модели должны оперировать характеристиками формируемых микроструктур на уровне нескольких атомных слоев материала. В сущности, необходимо выполнять имитационное моделирование, рассматривая поведение отдельных частиц материалов (понимая под частицей атом, молекулу, ион или небольшой кластер) в многофазной системе и учитывая стохастический характер поведения таких частиц, а также протекающих в окружающей среде (носителе частиц) и на поверхности (границе раздела фаз) физико-химических процессов.

В данной статье показана возможность построения и применения в микроэлектронике нового класса стохастических моделей технологических процессов, – на примере имитационного моделирования микрорельефа структуры металл-кремний, формирующейся при физическом нанесении тонкой металлической пленки на кремниевую подложку.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ МОДЕЛИ ОСАЖДЕНИЯ

Для получения тонких пленок, используемых в качестве металлизации элементов СБИС, наиболее часто применяется физическое осаждение материала (металла), включающее следующие процессы (этапы):

а) получение парообразной фазы частиц осаждаемого материала – высокотемпературное испарение источника, либо распыление мишени (источника) при бомбардировке ее поверхности ионами высоких энергий (например, Ar^+ при 30...100 кэВ);

б) перенос осаждаемых частиц от источника (мишени) к подложке – свободный полет частиц по прямолинейным траекториям в высоком (10^{-6} ... 10^{-4} Па) вакууме, либо направленное движение частиц в среде инертного газа низкого давления (например, Ar при 0,1...0,5 Па), сопровождающееся их диффузным (кинетическим) рассеянием;

в) реакция на поверхности подложки – попадание частиц осаждаемого материала на подложку, возможное движение (миграция) частиц вдоль поверхности, конденсация частиц материала в устойчивом состоянии (образование зерен и рост пленки).

В общем случае, электрофизические свойства получаемых металлических пленок (толщина, морфология, зернистость, структура, внутренние механические напряжения, удельное электрическое сопротивление, переходное сопротивление контакта и др.) зависят от чрезвычайно большого числа технологических факторов на всех указанных выше этапах процесса, а также от физико-химических свойств и чистоты применяемых материалов. Морфология же пленок (толщина и равномерность толщины, рельеф поверхности) зависят, в основном, от исходного рельефа поверхности подложки, а также геометрических параметров системы осаждения. Взаимное расположение и перемещение источника и подложки, а также тип и конфигурация источника фактически предопределяют геометрические характеристики потока осаждаемых частиц – пространственное распределение его интенсивности.

Протяженные (линейные, плоские или пространственные) источники (испарители, мишени) могут быть представлены в виде суперпозиции точечных источников. Для точечного источника пространственное распределение потока частиц определяется зависимостью

$$I(\Theta) = I_0 \cos(\Theta), \quad (1)$$

где I_0 – величина потока в направлении нормали к поверхности источника,

Θ – угол между нормалью и заданным направлением.

С увеличением расстояния R от источника величина потока, соответственно, убывает:

$$I(\Theta, R) = I_0 \cos(\Theta) / R^2. \quad (2)$$

Результирующий поток частиц материала в любой заданной точке пространства может быть определен суперпозицией потоков $I(\Theta, R)$ по всей площади (поверхности) протяженного источника.

Приведенные соотношения соответствуют известным зависимостям Кнудсена (для испарения) и Зигмунда (для распыления), и могут быть непосредственно использованы для численного моделирования потоков частиц в предположении прямолинейности их траекторий [2]. Такое предположение

справедливо при несущественном рассеянии частиц – в условиях, когда длина их свободного пробега (без соударения с молекулами среды-носителя) сравнима или превышает расстояние от мишени до подложки. В условиях невысокого вакуума (например, в процессе магнетронного распыления) траектории частиц уже не могут считаться прямолинейными (хотя и сохраняется общая направленность их движения к подложке). Отклонение траекторий от прямолинейных также может быть проанализировано на соответствующей модели, но заранее очевиден тот факт, что пространственное распределение потока осаждаемых частиц в этих условиях определенным образом модифицируется в сравнении с рассчитанным по зависимостям Кнудсена (вероятно предположить "расширение" распределения по углу Θ).

В связи со сказанным, целесообразным представляется введение понятия "квазиисточника" частиц, расположенного достаточно близко к подложке (рисунок 1), так чтобы это расстояние было существенно меньше длины свободного пробега частиц в газовой среде:

$$h < \lambda = \frac{kT}{\sqrt{2} p \pi \sigma^2}, \quad (3)$$

где T, p, σ – температура, давление и диаметр молекул газа, соответственно,

k – постоянная Больцмана.

В этом случае, поток частиц от квазиисточника к подложке может моделироваться прямолинейными траекториями частиц. Рассеяние же частиц на пути от мишени к квазиисточнику может быть учтено заданием соответствующего распределения потока частиц от квазиисточника.

Таким образом, поток осаждаемых на подложку частиц может быть с необходимой точностью описан с помощью плоского квазиисточника, представляющего собой случайное поле параметра интенсивности потока J с некоторым двухпараметрическим распределением $J(x, \varphi)$ – при двумерном моделировании в плоскости (xOz) , либо четырехпараметрическим распределением $J(x, y, \varphi_x, \varphi_y)$ – для трехмерной модели. Эти статистические распределения будут определяться, во-первых, суперпозицией потоков частиц с поверхности протяженной мишени, во-вторых, возможным кинетическим рассеянием частиц на молекулах газовой среды.

Непосредственно осаждение (конденсация) частиц на подложку моделируется следующим образом. Исходя из общей интенсивности потока (скорости осаждения) последовательно задается движение от квазиисточника некоторого (но достаточно большого – не менее 1000) числа частиц. Исходное положение и направление движения каждой частицы выбирается случайным образом в соответствии с распределением $J(x, \varphi)$. Прослеживается движение каждой частицы (по прямолинейным траекториям) и определяется точка попадания ее на поверхность подложки (точнее, на поверхность растущей пленки). Если энергия частиц невелика, а подложка имеет невысокую температуру (один из возможных технологических режимов осаждения), коэффициент "прилипания" частицы принимается равным 1, и частица фиксируется в точке падения. В противном случае, необходимо моделировать также случайную (хаотическую) миграцию частицы по поверхности в некоторой окрестности точки ее падения, величина которой зависит от избыточной энергии частицы. Миграция частицы заканчивается потерей всей избыточной энергии и переходом ее в связанное состояние. Подобная схема моделирования позволяет имитировать последовательное (эволюционное) изменение профиля поверхности растущей пленки, включая начальную фазу роста (образование островков конденсирующегося материала), а также опреде-

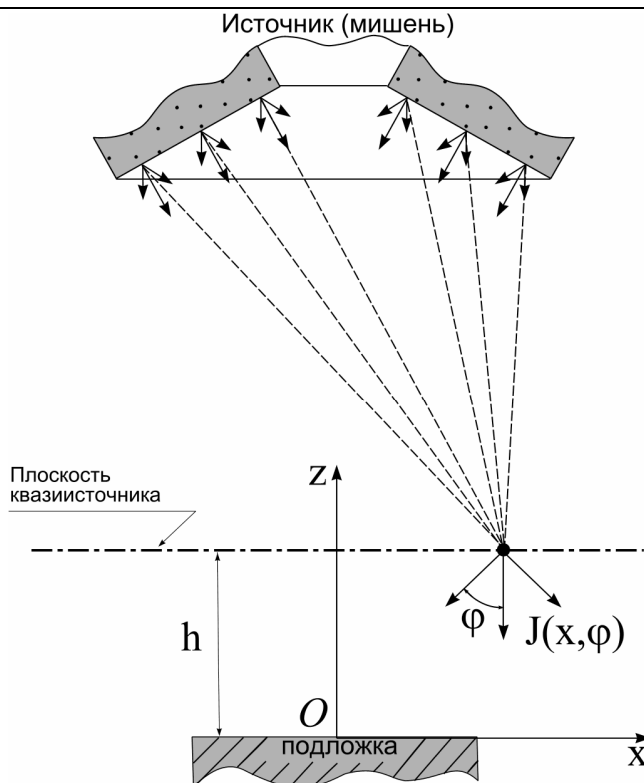


Рисунок 1 – Формирование потока осаждаемых частиц на плоскости квазиисточника.

лять геометрические характеристики микрорельефа образующей структуры.

Косинусоидальный закон распределения интенсивности излучаемого мишенью потока частиц приводит к тому, что основной вклад в формирование некоторого фрагмента осаждаемого на подложку слоя частиц будет вносить участок квазиисточника, непосредственно расположенный над выделенным фрагментом подложки (приемником), хотя, очевидно, существует ненулевая вероятность проникновения в эту область пространства частиц, излученных или рассеянных в прилегающих областях зоны распыления. Назовем эту область вместе с прилегающими к ней областями, для которых вероятность попадания локализованных в них частиц ("сторонних" частиц) на приемник существенно отлична от нуля, эффективной зоной рассеяния.

В этой связи для реализации описанных выше процессов предлагается использовать модель, которая в двумерном варианте представляет собой замкнутую прямоугольную область (рисунок 2), ограниченную по вертикали плоскостями квазиисточника и поверхности подложки, а по горизонтали – отрезками нормалей, восстановленных в концах рассматриваемого участка подложки шириной L . Величина L может соответствовать размеру некоторого участка подложки или всей подложки, но в любом случае она должна быть значительно больше среднего размера a осаждаемых частиц, т.е. должно выполняться условие промежуточной асимптотики: $a \gg L$.

Частицы испускаются последовательно из точек, случайно выбираемых на той стороне прямоугольника, которая лежит в плоскости квазиисточника, в предположении равномерного распределения вероятности.

Пусть случайная величина φ (угол между направлением движения отдельной частицы и нормалью к плоскости квазиисточника) имеет нормальную плотность распределения вероятности:

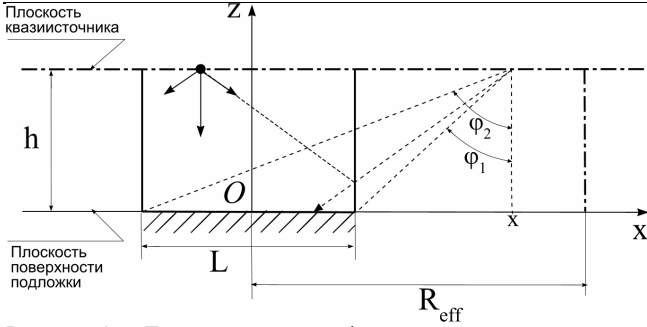


Рисунок 2 – Двумерная модель формирования слоя осаждаемых частиц.

$$f(\varphi) = \frac{1}{\delta\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{\varphi^2}{2\delta^2}\right), \quad (4)$$

где δ – среднее квадратическое отклонение.

При увеличении φ от среднего нулевого значения модельные частицы упруго отражаются от стенок, имитируя тем самым поступление «сторонних» частиц. Поскольку длина свободного пробега осаждаемых частиц, как правило, сравнима с размером R_{eff} эффективной зоны распыления или превышает его, эффектами рассеяния частиц можно пренебречь. Тогда вероятность $P(x)$ попадания «сторонней» частицы на приемник будет определяться видом плотности распределения вероятности величины φ и вероятностью попадания этой величины в диапазон углов $\varphi \div \varphi_2$, под которыми приемник виден из точки испускания этой частицы, расположенной на некотором расстоянии x на плоскости квазиисточника (см. рисунок 2), т.е. можно записать:

$$P(x) = \mu \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} f(\varphi) d\varphi, \quad (5)$$

где μ – некоторая константа, учитывающая вклад неучтенных факторов, $f(\varphi)$ – дается выражением (4).

Учитывая, что

$$\varphi_1 = \arctg\left(\frac{x - L/2}{h}\right), \quad \varphi_2 = \arctg\left(\frac{x + L/2}{h}\right),$$

а также очевидное соотношение:

$$\mu \int_{-\pi/2}^{\pi/2} f(\varphi) d\varphi = 1,$$

получаем

$$P(x) = \frac{\Delta\Phi}{2\Phi\left(\frac{\pi}{2\delta}\right)}, \quad \Delta\Phi = \Phi\left(\frac{\varphi_2}{\delta}\right) - \Phi\left(\frac{\varphi_1}{\delta}\right), \quad (6)$$

где $\Phi(x)$ – функция Лапласа.

Используя полученную формулу можно, в частности, определить для заданных h и L размер эффективной зоны распыления как расстояние, по достижении которого вероятность $P(x)$ пренебрежимо мала, т.е. $P(R_{eff}) \ll 1$.

Из формулы (6) видно, что с ростом x вероятность $P(x)$ стремится к нулю и при этом тем быстрее, чем меньше h . Действительно, чем ближе квазиисточник к приемнику (при уменьшении длины свободного пробега частиц), тем меньше

«сторонних» частиц попадает на приемник. Напротив, увеличение h , сопровождаемое увеличением длины свободного пробега частиц, будет приводить к росту $P(x)$ и, соответственно, росту R_{eff} . К аналогичному результату приведет увеличение δ поскольку это означает уширение распределения (4) и, как следствие, рост числа частиц, испускаемых мишенью под большими углами.

Для генерации нормально распределенных значений φ предлагается использовать метод полярных координат, согласно которому нормально распределенная случайная величина X с нулевым средним значением определяется по формуле:

$$X = V_i \sqrt{-\frac{\alpha \cdot \ln S}{S}}, \quad (7)$$

где $S = V_1 + V_2$, $V_1 = 2U_1 - 1$, $V_2 = 2U_2 - 1$, U_1 и U_2 – две независимые равномерно распределенные случайные величины из интервала $0 + 1$, а V_i принимает значение V_1 или V_2 .

Среднее квадратическое отклонение δ при этом определяется параметром α , и $\delta = 1$ при $\alpha = 2$, $\delta < 1$ при $\alpha < 2$, $\delta > 1$ при $\alpha > 2$.

Таким образом, кроме параметра α задающего вид генерируемого углового распределения, основными параметрами модели являются: расстояние h между поверхностями квазиисточника и подложки-приемника, количество N частиц, проходящих через расположенный над приемником участок квазиисточника в единицу времени, и размер R_{eff} эффективной зоны распыления. С помощью указанных параметров можно описывать различные модели процесса осаждения частиц, получаемых распылением мишеней разнообразной геометрии.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Для тестирования предложенной модели выбирались следующие значения указанных выше параметров: $L = 600a$; $R_{eff} / L = 10^4$ (что соответствует $R_{eff} \sim 10^2$ м при $a \approx 2 + 15$ нм); $N = 6000$ (что соответствует 10 слоям плотно упакованных частиц для выбранной величины L); $h / L = 10$ (это значение значительно меньше длины свободного пробега частиц и, вместе с тем, при больших значениях h параметры получаемого профиля оказываются практически нечувствительными к изменению h при неизменных других параметрах).

Результаты расчетов для двух асимптотических для δ значений α представлены на рисунке 3а ($\alpha = 0,1$) и 3б ($\alpha = 5$). Для каждого случая показан вид профиля в различные моменты времени (от начального t_1 до конечного t_5) и указаны характеристики микрорельефа (в скобках даны погрешности вычислений): доля β осажденных частиц от общего числа N , средняя толщина профиля d и фрактальная размерность D .

С ростом α , как и следовало ожидать, уменьшаются d и D . Следует отметить, что значения фрактальной размерности находятся в хорошем (в пределах полученной погрешности) согласии с величинами, характерными для фрактальных структур, формируемых ультрадисперсными частицами при прямолинейных траекториях движения [3].

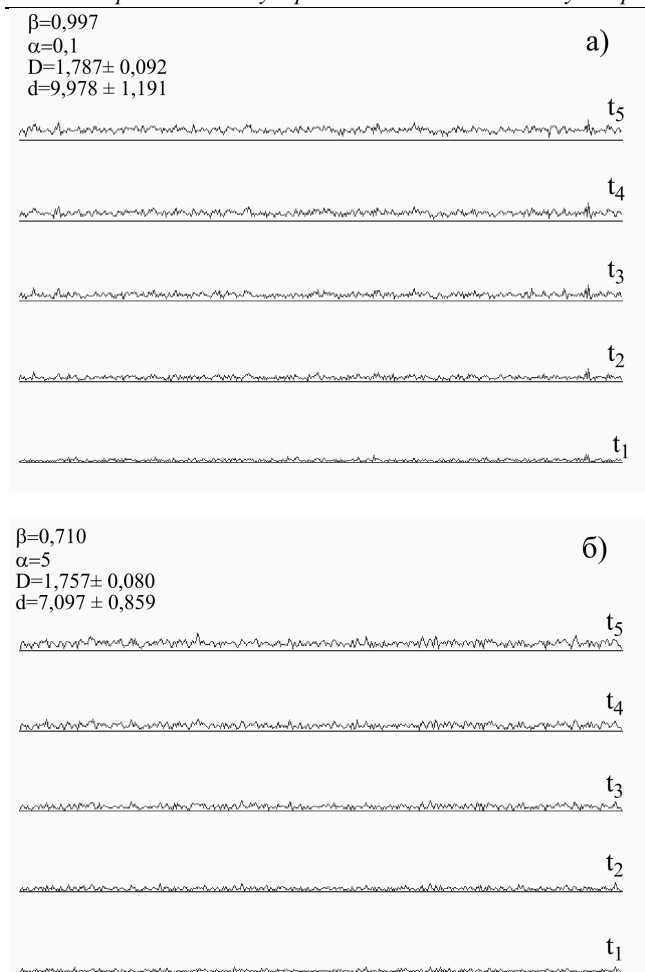


Рисунок 3 – Дифференцированный во времени процесс образования микрорельефа при осаждении металлической пленки на подложку при узком (а) и широком (б) угловом распределении излучения частиц квазиисточником.

Чтобы получить микрорельеф определенной толщины, при увеличении α необходимо, очевидно, увеличивать R_{eff} . Действительно, при $\alpha=5$ и $R_{eff}/L=10^6$ доля осаждаемых частиц приближается к 1 (см. рисунок 4), но при этом уменьшается фрактальная размерность, что свидетельствует о большей неравномерности получаемого микрорельефа и под-

УДК 621.52

Тарасов С.А.

РАСШИРЕНИЕ КОРРЕКТИРУЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПРОТОКОЛА V.42

Постоянно растущие объемы информации, пересылаемой по телекоммуникационным каналам, связаны с привлечением к такому виду передачи данных всё большего числа пользователей. Это приводит к расширению числа фирм, пытающихся найти свою нишу на рынке оборудования компьютерной связи, используемой конечными абонентами. Наиболее распространенным устройством, используемым конечными пользователями, является модем.

Тарасов Сергей Александрович. К. т. н., доцент, зав. кафедрой технической кибернетики Полоцкого государственного университета.

Беларусь, ПГУ, 211440, г. Новополоцк Витебской области, ул. Блохина 29. Тел. 02144 – 74657, e-mail: s.tarasov@belcaf.com.

тверждается наличием, в отличие от профилей, представленных на рисунке 3, редких достаточно высоких пиков. Полученная структура хорошо согласуется с микрофотографией поверхности реальной металлической пленки, фрагмент которой также представлен рисунком 4.

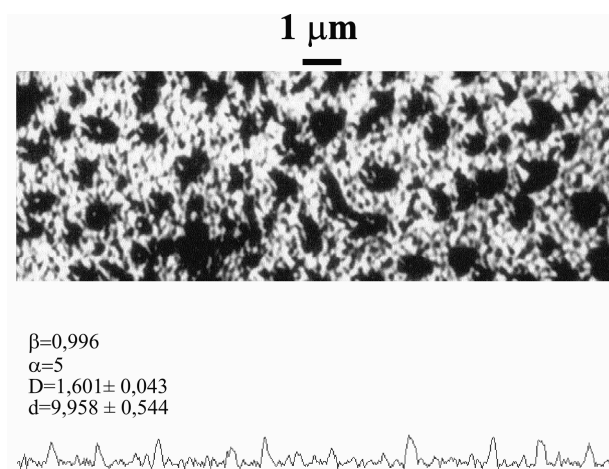


Рисунок 4 – Фрактальная поверхность металлической пленки $Ti:W(0,1 \text{ мкм})/Si$ и полученный в результате стохастического моделирования микрорельеф.

Таким образом, предложенная стохастическая модель образования слоев тонкопленочных элементов, основанная на предположении об их фрактальной структуре, позволяет получить результаты, адекватные экспериментальным данным. Это говорит о возможности дальнейшего исследования и теоретического развития данного класса моделей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Моделирование полупроводниковых приборов и технологических процессов. Последние достижения: Пер. с англ./ Под ред. Д. Миллера. – М.: Радио и связь, 1989. – 280 с.
2. Броддай И., Мерей Дж. Физические основы микротехнологии: Пер. с англ. под ред. А.В. Шального. – М.: Мир, 1985. – 496 с.
3. Смирнов Б.М. Фрактальные кластеры/ УФН. – 1986. – Т. 149. – № 2. – С. 177-219.

Для упорядочивания способов установления, организации и проведения сеансов связи между модемами служат протоколы. Протоколы международного уровня разрабатываются под эгидой Международного консультативного комитета по телефонии и телеграфии и относятся к серии V.

Протокол V.42 регламентирует исправление ошибок посредством повторной передачи [1]. Это, естественно, приводит к снижению скорости передачи данных через канал связи.