



**СОВРЕМЕННАЯ РАДИОЭЛЕКТРОНИКА:
НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
И ПОДГОТОВКА КАДРОВ**

Международная научно-практическая конференция

Минск, 23–24 апреля 2008 года

1

зонтального типа «Изотрон-4-150». Пленки ПКК осаждались при общем давлении 20–60 Па в диапазоне температур 850–920 К. Температурный профиль поддерживался с точностью ± 1 К.

В качестве подложек использовались кремниевые пластины диаметром 100 мм ориентацией (111) и удельным сопротивлением 1–12 Ом·см, легированные бором.

Структурно-морфологические свойства ПКК исследовались методом растровой электронной микроскопии просвечивающего электронного микроскопа М-800 (Hitachi, Япония). Толщина пленки определялась при помощи спектрофотометра MPV-SP «LEITZ».

В зависимости от режимов осаждения пленки ПКК могут иметь как усилия сжатия, так и усилия растяжения.

В зависимости от структуры чувствительного элемента (включающего в себя диэлектрической пленки, систему металлизации или то и другое вместе) выбирается технология осаждения пленки ПКК с механическими напряжениями сжатия или растяжения. Пленки ПКК могут иметь напряжения растяжения или сжатия в зависимости от режимов осаждения.

В связи с тем, что структура МЭМС, как правило, имеет в своем составе диэлектрические пленки, металлические пленки, которые в большинстве своем обладают механическими напряжениями растяжения, то пленки ПКК предпочтительнее с минимальными напряжениями, с размером кристаллитов 100–200 нм (рис. 1).

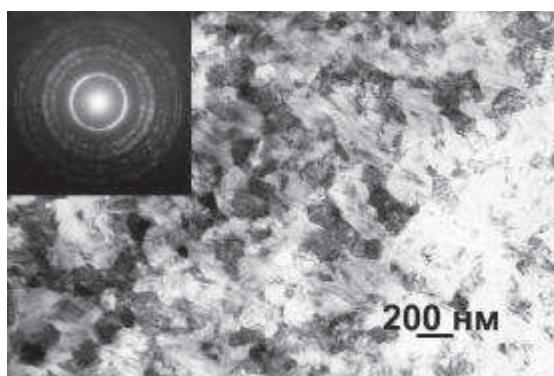


Рис. 1. Размер кристаллитов и механические напряжения в пленке ПКК, осажденной при температуре 888 К: $\sigma = 104$ МПа растяжение $D = 100$ –200 нм

Рентгенограмма показывает, что основное направление кристаллитов $\langle 110 \rangle$. Для систем, где используется только пленки ПКК, необходимо получить пленку со значительными механическими напряжениями. В связи с этим разработана технология легирования бором с последующим высокотемпературным отжигом, позволяющим значительно снизить механические напряжения и получить пленку ПКК с необходимыми характеристиками (рис. 2).

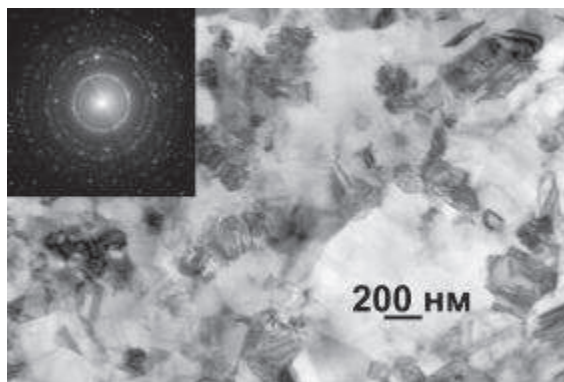


Рис. 2. Размер кристаллитов и механические напряжения в пленке ПКК, осажденной при температуре 888 К и легированной бором: $\sigma = 16$ МПа сжатие $D = 80$ –250 нм; $T_{\text{отж}} = 1123$ К; $D = 150$ –300 нм

Легирование пленок ПКК бором проводили методом диффузии при температуре 1343 К. Для температуры осаждения 888 К механические напряжения имеют минимум при отжиге 1413 К до $\sigma = -20$ МПа. Графики зависимости механических напряжений пленок ПКК, легированных бором от последующего отжига представлена на рис. 3.

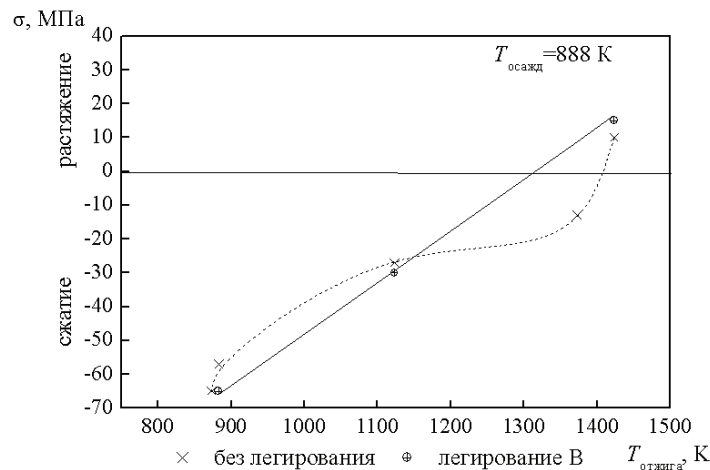


Рис. 3. Зависимость механического напряжения от температуры отжига для ПКК, осажденного при $T = 888$ К

Таким образом, исследование характеристик пленок ПКК с минимальными напряжениями, показало, что они являются одними из самых распространенных материалов, используемых в технологии МЭМС, так как, обладая собственными высокими механическими характеристиками, позволяют в зависимости от режимов осаждения компенсировать механические напряжения диэлектрических пленок и металлизации.

Полученные результаты использованы для оптимизации процесса получения поликристаллического кремния.

Литература

1. French P. J. // Sensors and actuators // 2002. Vol. 99. P. 3–12.
2. Jie Yang, Harold Kahn // IEEE journal of MEMS // 2000. Vol. 9. N 4. P. 485–493.

В. М. Ковриго, А. С. Тymoщик

Магнетронные распылительные системы

для нанесения полупроводниковых и диэлектрических пленок

Магнетронные распылительные системы получили свое название от СВЧ приборов М-типа (магнетронных устройств), хотя, кроме наличия скрещенных электрического и магнитного полей ничего общего с ними не имеют. Магнетронные системы относятся к системам распыления диодного типа, в которых распыление материала происходит за счет бомбардировки поверхности мишени ионами рабочего газа, образующимся в газе аномально тлеющего разряда. Высокая скорость распыления, характерная для этих систем, достигается увеличением плотности генерируемого ионного тока за счет локализации плазмы у поверхности мишени с помощью сильного поперечного магнитного поля [1, 2].

Основной проблемой при использовании магнетрона на постоянном токе при распылении диэлектрических и полупроводниковых материалов, является образование индуцированных зарядов на пленке, что снижает скорость распыления мишени. Постепенно, вследствие накопления заряда от положительных ионов индуцированный заряд покрывает весь диэлектрический слой и появляется дуга, которая приводит к разрушению поверхности мишени и ее испарению, что неблагоприятно отражается на структуре и стехиометрии наносимой пленки. Эта проблема отсутствует при использовании импульсного магнетронного распыления [3–7]. Распыление проводится в диапазоне частот 10–400 кГц, что обеспечивает снятие индуцированных разрядов с поверхности мишени за счет обратных токов возникающих в плазме при обратном полупериоде, и соответственно, значительно снижает дугообразование и соответственно количество дефектов в конденсируемой пленке. Так же широкое распространение имеют двойные импульсные магнетроны [3]. Одним из типов двойных импульсных магнетронов являются двойной кольцевой магнетрон [4]. Импульсное питание не только предотвращает образование дуги, перезаряжая поверхность мишени, но также увеличивает плотность плазмы и увеличивает энергию частиц. Есть два режима подачи импульса на двойной кольцевой магнетрон, однополярный режим рис. 1, а, на каждую мишень подается свой импульс. Таким образом, обе мишени противодействуют образованию виртуального анода. В случае биполярного режима рис. 1, б импульс подается на две мишени, тем самым мишени действуют поочередно как анод и катод и не

позволяют образовываться виртуальному аноду. В результате создаются стабильные и устойчивые условия распыления при проведении процессов нанесения диэлектрических пленок из металлических мишеней в среде реактивного газа. Также применяют импульсы различной формы: синусоидальные, прямоугольные, ассиметричные различного вида, в зависимости от материала мишени и вида реактивного газа [3]. Однако, несмотря на все преимущества импульсного магнетрона, он не в полной мере устраняет индуцированные заряды возникающие на поверхности мишени из диэлектрического материала. Поэтому для распыления диэлектриков широкое распространение получил высокочастотный магнетрон [8].

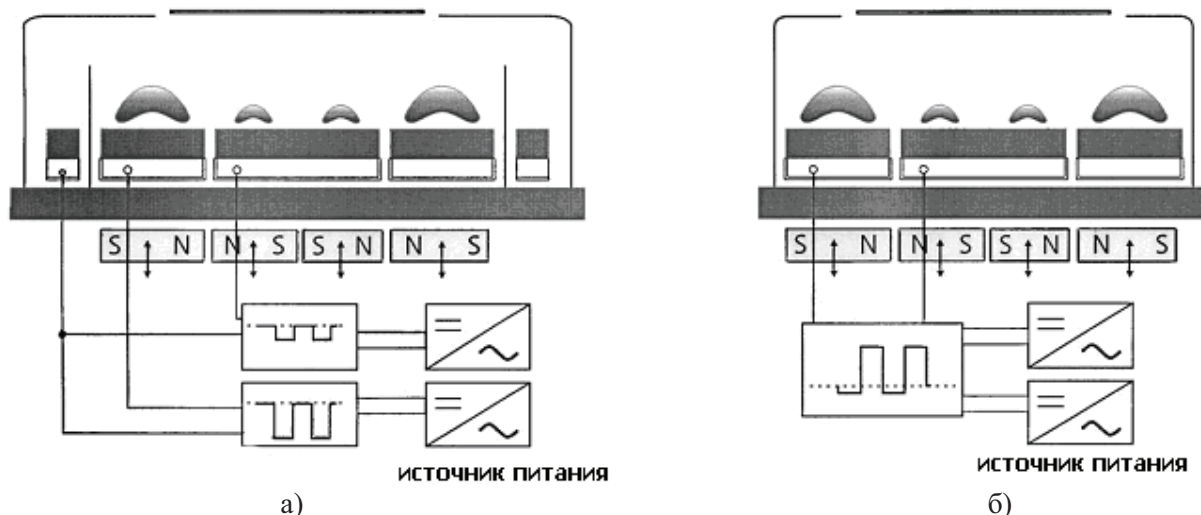


Рис. 1. Импульсное распыление с помощью двойного кольцевого магнетрона:
а – однополярный режим, б – биполярный режим

Принцип работы ВЧ-магнетрона похож на импульсный. В нем в место средней частоты, подается напряжение с частотой 13.56 МГц или кратной: 3.39, 6.78, 27, 54 МГц и др. ВЧ-магнетрон широко используется для нанесения сегнетоэлектрических слоев для формирования конденсаторных структур в микро- и нанoeлектронике, защитных и отражающих слоев в оптических накопителях: DVD-RW, blue-ray disks и др. [9]. Однако, не смотря на расширение области ВЧ магнетронного распыления для нанесения тонких пленок из полупроводниковых и диэлектрических мишеней, такие устройства отличаются рядом режимов генерации плазмы, которые не всегда обеспечивают стабильность функционирования, что требует проведения дополнительных исследований в этой области. Представляет интерес влияние конфигурации разрядной системы и мощности разряда на генерацию плазмы в α и γ режимах соответственно. Решение этой проблемы нуждается в микроскопическом подходе для определения соответствующей роли и влияния экрана катода и объема плазмы. Интерес представляет, также изучение пространственного распределения энергии ионов и плотности их потока на катод [8] в зависимости от химического состава рабочего газа и материала мишени, рабочего давления, напряжения подаваемого на мишень [10].

С целью формирования стехиометрических функциональных слоев сегнетоэлектриков для создания конденсаторных структур в ИС методом ВЧ-магнетронного распыления с максимальным коэффициентом использованием материала мишени на кафедре микро- и нанoeлектроники БГУИР разработана конструкция ВЧ-магнетронной распылительной системы и проводятся ее испытания. В рамках этой работы проведено моделирование конфигурации линий, величины и вектора индукции магнитного поля, что позволило разработать магнитную систему на основе постоянных ферритовых и самарий-кобальтовых магнитов, с удлинённым параллельным вектором индукции над поверхностью мишени-катода. Для стандартных магнетронных распылительных систем характерна величина коэффициента использования материала мишени 15–25 %. Проведенная работа по моделированию магнитного поля методом конечных элементов в программном пакете Elcut 5.1 Student позволила достичь коэффициента использования материала мишени более 40 %, что позволит экономить затраты на изготовление мишеней, особенно из драгоценных и полудрагоценных металлов в 1,5–2 раза.

Литература

1. Francis F. Chen. Industrial applications of low – temperatures plasma physics // Phys. Plasmas vol. 2, n. 6, June 1995. P. 2164–2175.
2. Плазменные ускорители / под общ. ред. Л. А Арцимовича. – М. : Машиностроение, 1973. – С. 56–58.
3. Xiang Y., Chengbiao W., Yang L., Deyang Y., Tingyan X., Recent Developments in Magnetron