

поле на оси линзы сильно отличается от электрического поля возле электродов. В электростатических системах обычно пучок ограничивают диафрагмами.

Расстояние от катода до электростатической фокусирующей линзы 45 мм. Расстояние от линзы до объекта 260 мм. То есть фокусирующая система работает с увеличением примерно 5,8 раза, и должна иметь большое фокусное расстояние. Здесь подойдет слабая линза. Если диаметр катодного пятна принять за 1 мм, то мы получим диаметр на мишени порядка 6 мм без учета размытости от aberrаций. Это возможно если мы получаем слабо расходящийся пучок из анодного отверстия, и он попадает на оптическую ось фокусирующей линзы. Для этого электронный пучок должен иметь угол расходимости не больше 10 градусов. Это возможно обеспечить с помощью диафрагм, расположенных после анода. Или изготовить анод с глубоким отверстием. Если необходимо получить диаметр электронного луча на подложке порядка 2 мм, то необходимо уменьшить диаметр катодной области в 6 раз, то есть до 0,3 мм. В данной конструкции диаметр анодного отверстия 10 мм, а диаметр отверстия в венельте тоже 10 мм. Катод изготовлен в виде навитой пружины и не имеет излучающей поверхности на оси пучка. Это явилось причиной отсутствия пучка, и соответственно фокусировки пучка.

Чтобы устранить неисправность необходимо создать имитирующую поверхность катода на оси пучка, уменьшить максимально отверстие в венельте и изготовить глубокий анод. Например, диаметр отверстия в аноде 3 мм, а глубина отверстия не менее 15 мм. При достаточном токе накала катода и запирающем потенциале на венельте возможно получение заданных параметров пучка на мишени.

Литература

1. Электронная оптика и электронно-лучевые приборы / Л.Г. Шерстнев - М. Энергия, 1971, стр. 80 – 83.

Системы питания высокоомощных импульсных магнетронов распыления HIPIMS

В.С.Мачикин

ООО «ПЛАЗМА-ТЕХ»

г. Москва, Садовническая ул., д.72, стр.1, оф.6

iver@mail.ru

Предприятие ООО «ПЛАЗМА-ТЕХ» продолжает разрабатывать и изготавливать системы питания для одиночных и дуальных высокоомощных импульсных магнетронов распыления. Могут быть сконфигурированы различные варианты систем питания с широким диапазоном выходных параметров. Предложена схема построения систем HIPIMS большой мощности матричного типа.

Power systems for high-power pulse magnetrons HIPIMS. V.S. Machikin. The company PLAZMA-TECH LLC continues to develop and manufacture power systems for single and dual high-power pulsed sputtering magnetrons. Different versions of power systems with a wide range of output parameters can be configured. The scheme to construct high-power HIPIMS systems of the matrix type is proposed.

Предприятием ООО «ПЛАЗМА-ТЕХ» разработаны и выпускаются на заказной основе системы питания одиночных и дуальных высокоомощных импульсных магнетронов распыления.

Отличительной особенностью этих систем питания является блочно-модульный принцип построения, позволяющий обеспечить масштабирование их выходных параметров и разнообразие модификаций практически под все возникающие технологические задачи.

Системы питания одиночных магнетронов могут быть изготовлены с выходными параметрами в диапазоне $U_{\text{вых}} = -650 \text{ В} \div -2400 \text{ В}$, $I_{\text{выхDC}} = 3 \text{ А} \div 100 \text{ А}$, $I_{\text{выхимп}} = 0,3 \text{ кА} \div 6 \text{ кА}$, $\tau_{\text{имп}} = 5 \text{ мкс} \div 2 \text{ мс}$, $F_{\text{имп}} = 100 \text{ Гц} \div 40 \text{ Гц}$, $\tau_{\text{д.з.}} = 2 \text{ мкс} \div 3 \text{ мкс}$.

Для систем питания дуальных магнетронов достигнуты выходные параметры, как для однополярных, за исключением выходного напряжения, которое может быть в диапазоне $U_{\text{вых}} = -650 \text{ В} \div -1200 \text{ В}$.

Структурно система питания одиночного магнетрона построена из пяти видов блоков: управления, силового, накопителя энергии, дугозащиты и частотной коммутации поддержания разряда и представлена на рис.1.

Выходные цепи системы питания гальванически изолированы от всех других цепей системы и в том числе от цепей заземления, а низкопотенциальная положительная допускает подачу на нее относительно «заземленных корпусов» напряжения до $\pm 500 \text{ В}$. Это позволяет питать магнетрон, имеющий в своем составе анод, изолированный от корпуса вакуумной камеры.

Входящие в систему блоки имеют модульное исполнение, которое обеспечивает вариацию выходной мощности силового блока, суммарной емкости блока накопления энергии, выходного импульсного тока блока дугозащиты и частотной коммутации. Кроме того, обеспечивается хорошая ремонтоспособность системы путем замены модулей. Также входящие в силовые блоки модули конвертора имеют встроенные корректоры коэффициента мощности, что обеспечивает потребление системой от питающей сети практически синусоидального тока.

Структурно схема системы питания дуальных магнетронов приведена на рис.2.

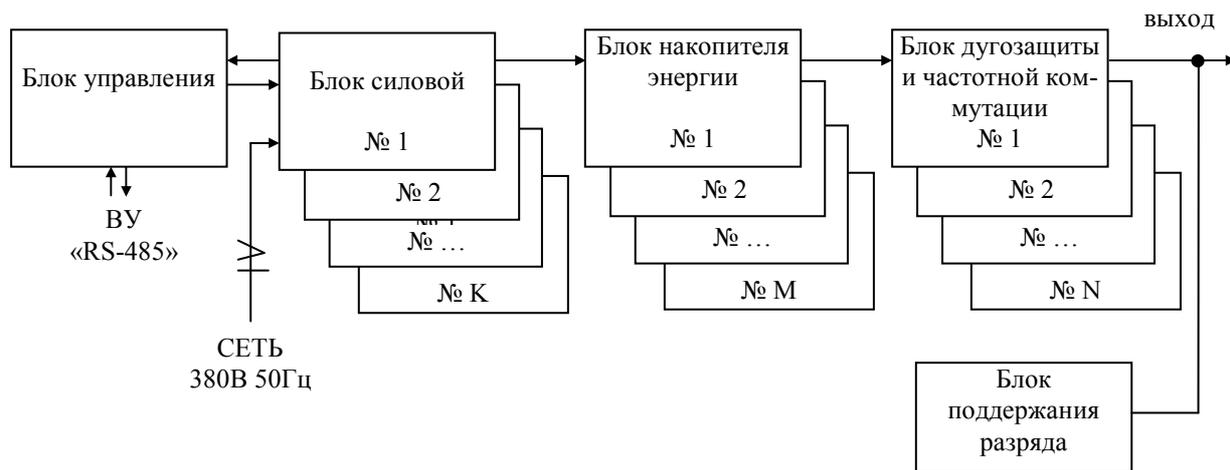


Рис.1. Структурная схема системы питания одиночного магнетрона.

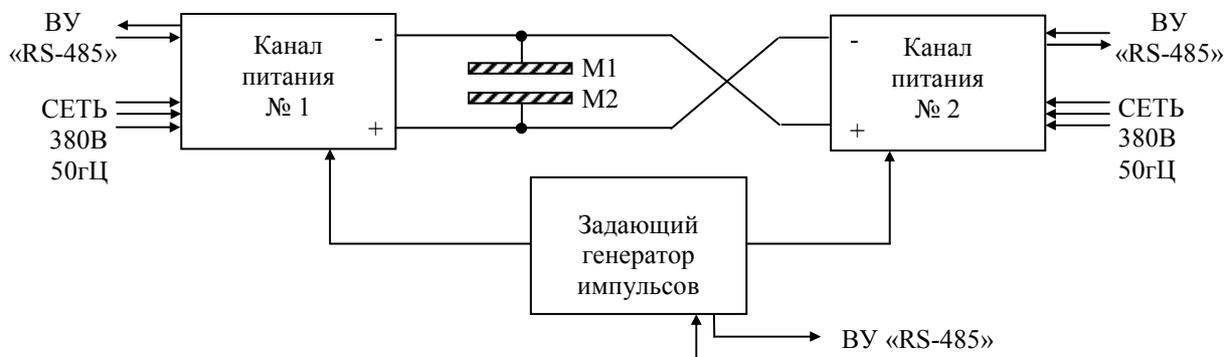


Рис.2. Структурная схема системы питания дуальных магнетронов.

Каналы № 1 и № 2 системы питания дуальных магнетронов выполнены по схеме, представленной на рис.1, но с тем отличием, что в них усилена изоляция выходных цепей на потенциал до 3 кВ, и повышена помехозащищенность цепей управления.

Вышепоименованные системы питания могут работать в трех режимах стабилизации выходных параметров: по напряжению, по среднему DC-току, по импульсному току или по средней DC-мощности.

В системе для дуальных магнетронов выходные параметры регулируются и стабилизируются независимо по двум каналам, включая задание длительности выходных импульсов $\tau_{\text{имп1}}$, $\tau_{\text{имп2}}$ и времени паузы между ними.

Внешний вид системы питания HIPIMS дуальных магнетронов с выходной мощностью первого канала 36 кВт, напряжением -1200 В, импульсным током 2,7 кА и с выходной мощностью второго канала 18 кВт, напряжением -900 В, импульсным током 1,35 кА показан на рис.3.



Рис.3. Система питания дуальных магнетронов.

Внешний вид системы питания HIPIMS для одиночного магнетрона с выходной DC-мощностью 18 кВт, напряжением -1200 В, импульсным током 1600 А и конструктивно выполненной в двух блоках, показан на рис.4.



Рис.4. Система питания одиночного магнетрона.

Типовая осциллограмма тока и напряжения на дуальном магнетроне показана на рис.5.



Рис.5. Осциллограмма тока и напряжения на дуальном магнетроне.

Следует отметить, что при разработке систем высокоомощного импульсного магнетронного распыления необходимо её не разделять на два изделия: собственно сами магнетроны и систему питания. Нужно учитывать, что это единая система. Это особенно важно при проектировании систем с выходным напряжением более 1200 В и импульсным током свыше 1,5 кА. Неправильно подобранный выходной импеданс системы питания или же конструкция магнетронов распыления будут приводить к чрезмерно высокой частоте появления дуговых и диффузионных разрядов в магнетронах. Это не дает проводить нормально техпроцесс и получить качественные покрытия. Для высокоомощных импульсных систем, как показали реальные результаты их испытаний, уже полученного быстродействия «дугозащиты» в 2,5 мкс недостаточно для подавления «дуговых микровзрывов» на поверхности катодов (мишеней) магнетронов при переходе высоковольтного распределенного разряда в дуговой. Паразитная тепловая энергия дуги пропорциональна произведению времени дугозащиты на пиковое напряжение и на пиковый импульсный ток в момент возникновения дугового разряда. И если в классических средне-частотных (10 ÷ 60 кГц) одиночных или дуальных системах питания напряжение было на уровне 750 В, а ток 150 А, то в системах HIPIMS - это 1500 В и 1500 А ÷ 6000 А.

Вышеуказанное обстоятельство приводит к превышению критической энергии в катодном пятне «микродуги» и, естественно, такая «дугозащита» уже перестает выполнять свою функцию. Так как на современном уровне развития полупроводниковой элементной базы сделать реальное время дугозащиты в 0,1 мкс ÷ 0,25 мкс не представляется возможным, мы предлагаем другой метод построения систем HIPIMS. С нашей точки зрения необходимо для получения больших по площади и, естественно, по импульсному току магнетронов HIPIMS делать их составными, то есть делать сборку, состоящую из большого количества малых по площади и соответственно по импульсному току магнетронов, и питаемых каждый от своего блока (модуля) дугозащиты и частотной коммутации. Тогда при возникновении дуги на каком-либо магнетроне этой сборки энергия в дуговом пятне не будет достигать критической, и будет обеспечен бездефектный процесс распыления мишеней.

Структурная схема предлагаемой системы питания приведена на рис.6.

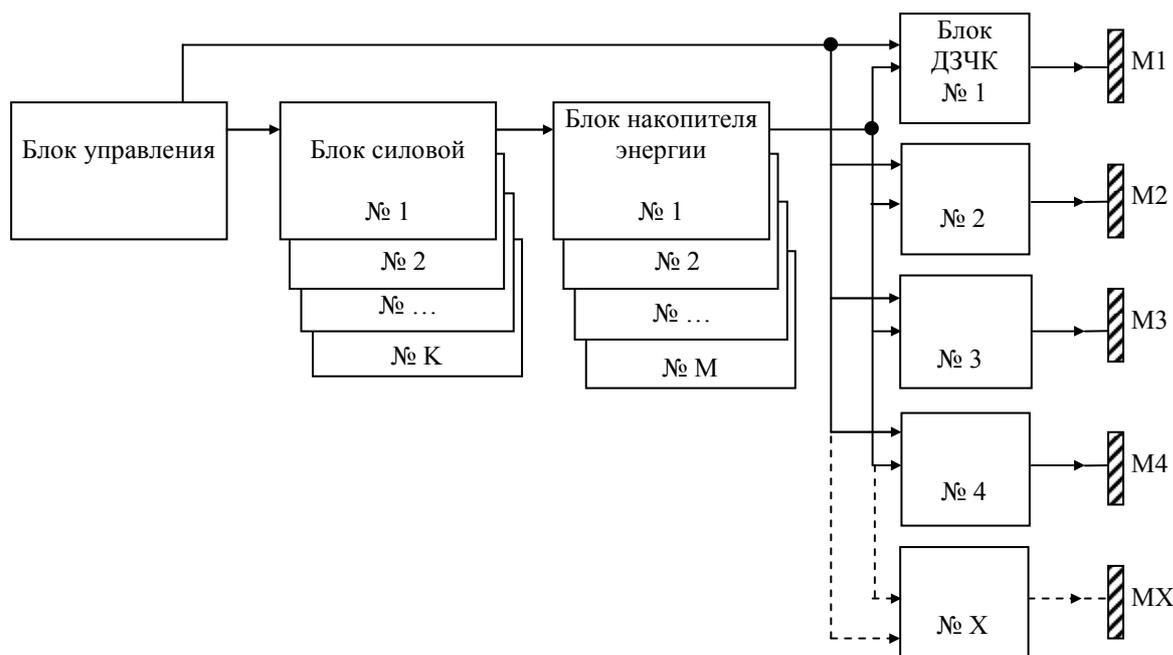


Рис.6. Структурная схема системы питания для сборки магнетронов.

Оптическая спектроскопия полупроводниковых пленок MoS₂

А.И.Беликов, Чжо Зин Пью, А.И.Семочкин
Москва, МГТУ имени Н.Э.Баумана, 2-я Бауманская ул., 5,
кафедра МТ-11 ("Электронные технологии в машиностроении")
E-mail: belikov@bmstu.ru

Представлены результаты исследования тонких пленок дисульфида молибдена, формируемых методом магнетронного распыления на подложках из кремния, методом оптической спектроскопии. Расчетно-графическим методом определены значения ширины запрещенной зоны (ШЗЗ) полученных образцов.

Optical spectroscopy of semiconductor MoS₂ films. A.I.Belikov, Kyaw Zin Phyoo, A.I.Syomochkin. The results of studying the optical properties of molybdenum disulphide thin films formed by the magnetron sputtering MoS₂ target on silicon substrates are presented. Optical band gap energy (E_g) is calculated by estimating-plotting method.

Введение

В последнее время дисульфид молибдена (MoS₂) является широко исследуемым материалом, ультратонкие пленки MoS₂ обеспечивают высокие показатели эффективности электронных приборов (низкое энергопотребление, высокая чувствительность) при использовании в таких устройствах, как полевой транзистор [1] и фотодетектор [2]. Благодаря высокой подвижности носителей заряда и стабильности электрических свойств при больших деформациях ультратонкие пленки MoS₂ перспективны для применения в различных устройствах нанoeлектроники. Молекулярный слой пленки MoS₂ гексагональной структуры является прямозонным полупроводником с шириной запрещенной зоны равной 1.8 эВ, обладает высокой подвижностью носителей заряда (до 700 см²·В⁻¹·с⁻¹), большим оптическим поглощением (10⁷м⁻¹), в опытных экземплярах полевых транзисторов достигались высокие значения соотношения токов в