

УДК 539218621.793

ОТРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ФОРМИРОВАНИЯ БЕЗДЕФЕКТНЫХ ТОНКИХ ПЛЕНОК НИКЕЛЯ НА СТЕКЛЕ

Елизавета Ильинична Малеванная⁽¹⁾, Денис Дмитриевич Васильев⁽²⁾

*Студент 3 курса⁽¹⁾, студент 6 курса⁽²⁾,
кафедра "Электронные технологии в машиностроении",
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: К.М. Моисеев,
кандидат технических наук, доцент кафедры "Электронные технологии в машиностроении"*

К материалам электронной и радиоэлектронной промышленности предъявляются высокие требования по качеству: в пленках не должно быть примесей и пор. Например, при изготовлении тонкопленочных конденсаторов поры в пленке диэлектрика приводят к пробоям и являются причиной негодности этого элемента микросхемы [1]. Пористая структура, в том числе и на поверхности, тонкопленочных проводящих элементов схемы, вызывает потери электрической энергии, что приводит к уменьшению эффективности разработанной микросхемы [2]. Таким образом, поры в пленках, являясь негативным фактором, влияющим на долговечность и корректность работы электронных систем, требуют по возможности полного своего устранения.

Пористая структура покрытий объясняется спецификой формирования тонких пленок на поверхности подложки. При осаждении на поверхность подложки формируется столбчатая структура пленки, из-за чего в пленке образуются проколы [3].

На морфологию и рост пленок оказывает влияние ряд факторов:

- морфология поверхности подложки;
- скорость осаждения материала пленки;
- температура подложки;
- энергия осаждающихся частиц.

Для уменьшения влияния вышеперечисленных факторов предлагается несколько способов [3] (табл. 1).

Целью этой работы является получения бездефектного функционального тонкопленочного покрытия толщиной $0,6 \pm 0,2$ мкм из никеля для электродов на стекле для дальнейшего проведения процессов литографии.

Эксперименты проводились на установке ВУП-11М кафедры МТ11 «Электронные технологии в машиностроении». ВУП-11М [4] относится к установкам вакуумного нанесения периодического действия, и предназначена для нанесения широкого спектра покрытий.

Для получения тонкопленочного покрытия из никеля использовался метод магнетронного распыления. Чтобы минимизировать влияние никеля на магнитное поле магнетрона, мишень была изготовлена из тонкой никелевой платины толщиной 0,5 мм.

Был проведен эксперимент по нанесению тонкой пленки никеля на стекло с целью проверить работоспособность магнетрона с тонкой никелевой мишенью и определить скорость осаждения материала. Параметры процесса занесены в таблицу 2.

Таблица 1. Способы уменьшения пористости

№ п/п	Мера по уменьшению пористости	Влияние
1	Предварительная ионная очистка подложек и ионное полирование	Позволяет получить чистую поверхность с низкой шероховатостью, т. е. уменьшает влияние морфологии подложки на структуру пленки и увеличивает адгезию покрытия
2	Нагрев подложки	Более высокая температура обеспечивает более длительный переход атома из возбужденного состояния в состояние с минимальной энергией и более интенсивное перемещение атомов по подложке, что приводит к большему количеству центров зародышеобразования [2]
3	Уменьшение скорости осаждения	Низкая скорость дает больше времени на миграцию атомов по поверхности подложки до осаждения следующих атомов. Это, также, влечет за собой увеличение количества центров образования зародышей пленки
4	Увеличение энергии осаждающихся атомов	Более высокая энергия обеспечивает более долгий переход к минимуму энергий для атомов, из-за этого происходит увеличение количества центров роста пленки
5	Ионное ассистирование при нанесении	Вследствие сообщения дополнительной энергии ионами осаждающихся частиц формируется более мелкозернистая и плотная структура пленки

Таблица 2. Параметры эксперимента по нанесению никеля на стекло

№	Параметр	Значение
1	Расстояние, мм	100
2	Р ост, мбар	$5,6 \cdot 10^{-5}$
3	Р, мбар	$2,6 \cdot 10^{-3}$
4	Тип источника	DC

5	Q_{AR} , л/ч	0,52
6	I, А	0,43
7	U, В	533
8	P, Вт	230
9	t, мин	7

В полученной пленке на просвет были видны четкие проколы. При царапании пленка легко отходила от подложки. Толщина пленки при измерении на СЗМ SolverNext составила 470 нм. Для улучшения качества покрытия и уменьшения количества пор в пленке было решено нанести покрытие при меньшем значении мощности и при увеличенном расстоянии до магнетрона (табл. 3).

Таблица 3. Параметры процесса нанесения никеля при меньшей мощности

№	Параметр	Значение
1	Расстояние, мм	120
2	P ост, мбар	$5,6 \cdot 10^{-5}$
3	P, мбар	$2,6 \cdot 10^{-3}$
4	Тип источника	DC
5	Q_{AR} , л/ч	0,52
6	I, А	0,36
7	U, В	392
8	P, Вт	140
9	t, мин	7

Пленка, полученная после второго эксперимента, оказалась более высокого качества: на просвет пор не было видно. Поверхность пленки была рассмотрена на микротвердомере ПМТ-ЗМ. На этом устройстве установлена цифровая камера-окуляр, которая позволяет смотреть покрытия на компьютере и производить линейные измерения. При увеличении были видны редкие поры (рис. 1). Была сделана царапина, чтобы посмотреть, как ведет себя пленка на стекле (рис. 2). Пленка довольно легко отходила от поверхности.



Рисунок 1. Пора на поверхности пленки Ni

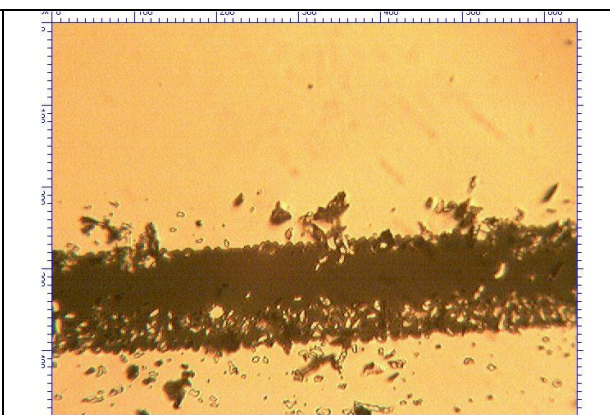


Рисунок 2. Царапина на пленке Ni

Был сделан третий образец пленки никеля на стекле. Поверхность стекла была отполирована после предыдущей пленки. Расстояние и мощность были уменьшены. Уменьшение расстояния увеличило скорость осаждения материала, однако влияние расстояния на скорость меньше, чем влияние мощности. Параметры процесса нанесения представлены в таблице 4.

Таблица 4. Параметры процесса нанесения никеля при меньшем значении мощности

№	Параметр	Значение
1	Расстояние, мм	90
2	$P_{ост}$, мбар	$3,3 \cdot 10^{-5}$
3	P , мбар	$2,6 \cdot 10^{-3}$
4	Тип источника	DC
5	Q_{AR} , л/ч	0,52
6	I , А	0,25
7	U , В	370
8	P , Вт	90
9	t , мин	7

Полученное покрытие было рассмотрено на микротвердомере. При увеличении были видны следы полировки. В пленке были обнаружены поры (рис. 3), а также некоторые включения округлой формы (рис. 4). Возможно, данный дефект образовался из-за неплотного прилегания мишени к магнетрону, в результате чего мишень сильно нагревалась, и на подложку осаждались целые кластеры материала.

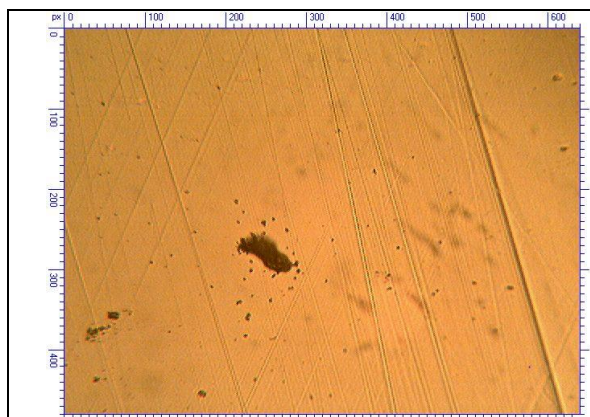


Рисунок 3. Пора в пленке Ni



Рисунок 4. Дефект в пленке

Был проведен очередной эксперимент по нанесению никелевого покрытия. Для проведения процесса был выбран ВЧ источник. Поверхность стекла была отполирована от прошлой пленки и почищена спиртом. Параметры эксперимента указаны в таблице 5.

Образец покрытия был рассмотрен при увеличении. На поверхности были заметны следы полировки, проколов в пленке очень мало (рис. 5). Также, видны небольшие включения материала в пленке и разводы, возможно, появившиеся при обработке спиртом.

Таблица 5. Параметры процесса нанесения никеля ВЧ источником

№	Параметр	Значение
1	Расстояние, мм	90
2	Р ост, мбар	$2,6 \cdot 10^{-5}$
3	Р, мбар	$2,6 \cdot 10^{-3}$
4	Тип источника	RF
5	Q_{AR} , л/ч	0,72
6	Р, Вт	200
7	t, мин	8

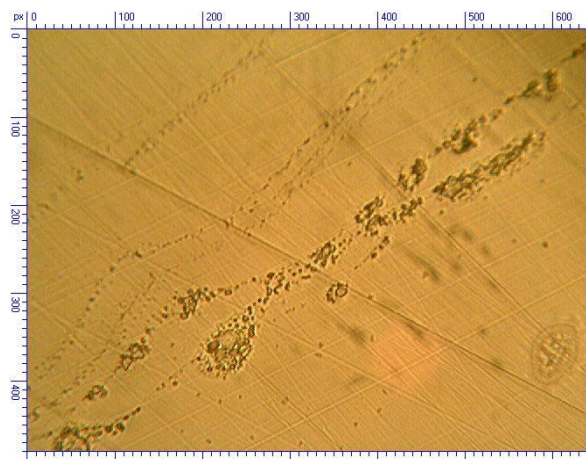


Рисунок 5. Поверхность пленки Ni

Из проведенных экспериментов можно сделать вывод о том, что уменьшение скорости осаждения покрытия приводит к уменьшению количества пор в пленке.

В дальнейшем планируется провести эксперименты по формированию тонкопленочной структуры с подачей тока смещения на подложку, чтобы оценить влияние энергии осаждающихся частиц на пористость покрытия.

Литература

1. Чебурахин И.Н., Нефедьев Д.И., Оценка качества тонкопленочных тензоструктур МДМ/ Д.И. Чебурахин// Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. - 2013. - №3. - С. 54-60.
2. Технология тонких пленок. Справочник / Под ред. Л. Майссела, Р. Глэнга: Пер. с англ; Под. ред. М.И. Элинсона, Г.Г. Смолко. М.: Советское радио. 1977. Т.1. 664 с.
3. И.Ф. Ивановский, В.И. Петров Ионно-плазменная обработка материалов. - М.: Радио и связь. 1986. - 232 с.
4. Формирование двухкомпонентных тонких пленок на установке ВУП11-М/ Д.Д. Васильев, Е.И. Малеванная// Будущее машиностроения России: сб. тр. Седьмой Всерос. конф. молодых ученых и специалистов. Москва, 24-27 сентября 2014 г./ Москва: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. – С. 154-155.