

## РАСПЫЛЕНИЕ НИКЕЛЯ В ПАРАМАГНИТНОМ СОСТОЯНИИ

*В.А. Грудинин, Д.В. Сиделёв*

Научный руководитель: инженер, Д.В. Сиделёв  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
E-mail: vladergru@mail.ru

Тонкие плёнки никеля используются в качестве коррозионностойких покрытий для металлургии, ферромагнитных, адгезионных и барьерных слоёв в микроэлектронике. Для этих областей применения осаждение тонкоплёночных покрытий преимущественно производят с помощью техники магнетронного распыления, обладающего высокой воспроизводимостью, стабильностью, хорошей адгезией и чистотой покрытий. Однако при распылении ферромагнитных материалов, к которым относится никель, происходит шунтирование магнитного поля магнетрона, что приводит к снижению скорости осаждения покрытий ввиду меньшей плотности ионизованных частиц в междиодном промежутке. В настоящее время для обеспечения высокой производительности процесса осаждения покрытий из никеля используют следующие технологические приёмы:

- 1) распыление при повышенных давлениях рабочего газа в вакуумной камере;
- 2) уменьшение толщины мишени или существенная переработка конструкции магнитного поля магнетрона, в том числе использование внешнего источника магнитного поля;
- 3) распыление никеля при температуре выше точки Кюри (для никеля – 358,6 °С).

Наиболее интересным представляется третий подход, так как он позволяет полностью устранить проблему шунтирования магнитного поля. Ранее для распыления никеля из парамагнитного состояния использовали дополнительные внешние источники нагрева (ИК лампы, резистивный нагрев и пр.) [1], в нашей работе рассмотрен иной подход – разогрев ферромагнитного катода с помощью энергии распылительного процесса. Для этого применяют специальные конструкции катода, обеспечивающие его частичную теплоизоляцию от охлаждаемого корпуса магнетрона [2]. Целью данной работы является исследование влияния магнитного состояния материала мишени на электрофизические параметры разряда и скорость осаждения плёнок никеля.

Осаждение Ni плёнок производилось на установке магнетронного распыления в атмосфере Ar (99,99%) при давлении 0,2 Па. Остаточное давление в рабочей камере составляло  $2 \cdot 10^{-2}$  Па. Была использована классическая конструкция магнетрона с косвенным охлаждением мишени. В качестве катода был использован Ni (99,95%) диск, диаметром 90 мм и толщиной 4 мм. Для обеспечения теплоизоляции мишени, она закреплялась через специальную вставку из молибдена диаметром 10 мм. Перед осаждением производилась очистка подложек с помощью ионного источника в течение 15 минут. В работе был использован среднечастотный источник питания АРЕL-М (100 кГц).

На рисунке 1,а показана зависимость мощности и тока магнетронного разряда от времени распыления и типа мишени при стабилизации напряжения (–550 В). В случае распыления полностью охлаждаемой мишени наблюдается 10% рост значений тока и мощности разряда за один цикл распыления. Основной причиной изменений такого рода является: (а) эрозия ферромагнитного катода и последующее частичное восстановление магнитного поля МРС; (б) изменение профиля поверхности мишени, также приводящее к увеличению величины магнитной индукции. Для системы с частично теплоизолированным катодом в начальный промежуток времени происходит почти двукратное увеличение тока и мощности разряда, в дальнейшем происходит лишь 2% рост тока и мощности разряда. Первоначальное изменение параметров разряда обусловлено переходом никеля из ферромагнитного в парамагнитное состояние, что приводит к полноценному восстановлению магнитного поля магнетрона, в дальнейшем играет роль только фактор эволюции профиля поверхности мишени.

На рисунке 1,б показаны изменения напряжения и тока магнетронного разряда при поддержании постоянной мощности. Видно, что эти изменения имеют временную зависимость и определяются мощностью разряда, определяют время выхода материала катода в парамагнитное состояние. Увеличение мощности магнетронного разряда приводит к сокращению длительности процесса перехода никеля из ферро- в парамагнитное состояние. Также следует отметить, что для данной конструкции частичной теплоизоляции катода при всех выбранных мощностях (200...1000 Вт) достижим режим распыления никеля в парамагнитном состоянии.

На рисунке 2 показано, что осаждение плёнок никеля с помощью магнетрона с частичной теплоизоляцией катода более эффективно. Наблюдается 20% увеличение скорости осаждения покрытий ввиду повышения коэффициента распыления никеля в парамагнитном состоянии [3].

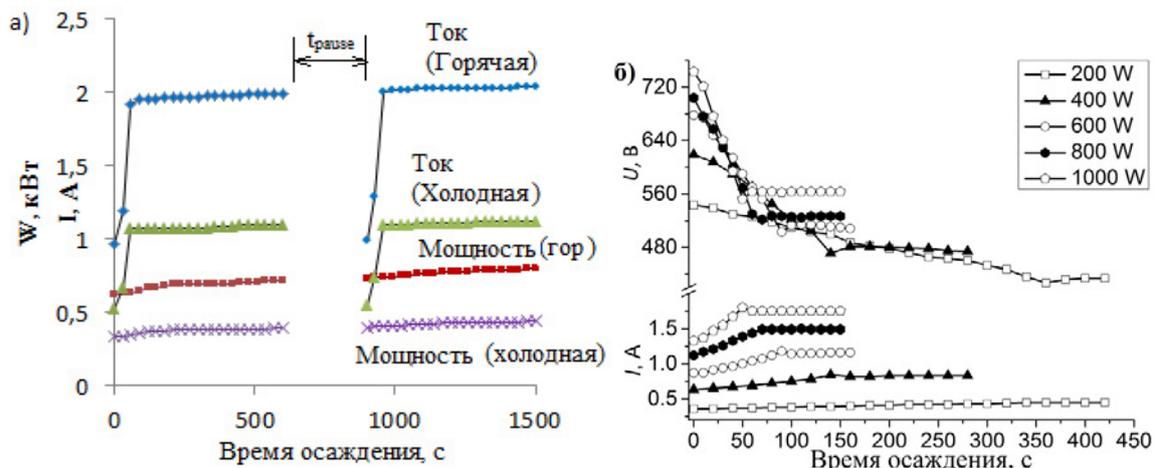


Рис. 1. а) характеристики мощности и тока разряда в зависимости от времени и типа мишени; б) эволюция тока и напряжения при различной мощности магнетронного разряда



Рис. 2. Зависимость скорости осаждения плёнок никеля от мощности разряда и типа мишени

Таким образом, в нашей работе показано, что:

- частичная теплоизоляция мишени обеспечивает переход ферромагнитных материалов в парамагнитное состояние (показано на примере никеля) за счёт энергии процесса распыления катода;
- становится возможным производить осаждение ферромагнитных материалов с помощью классических конструкций MPC и при низких рабочих давлениях;
- наблюдается 20% повышение скорости осаждения покрытий при распылении никеля в парамагнитном состоянии.

#### Список литературы

1. Pat. 4299678 (USA), Int. Cl. C23C 15/00. Magnetic target plane for use in magnetron sputtering of magnetic films / B.B. Meckel. – Issue date 10.11.1981.
2. Bleykher G.A., Borduleva A.O., Krivobokov V.P. et al. // Vacuum. – 2016. – Vol. 132. – P. 62.
3. Yurasova V.E., Chernysh V.S., Kuvakin M.V. et al. // J. Experimental Theoretical Phys. Lett. – 1975. – Vol. 21. – P. 88.