

УДК: 539.141;537.868.531

ИОННОЕ - И ИОННО-ХИМИЧЕСКОЕ ТРАВЛЕНИЕ ПЛЕНОК МЕТАЛЛОВ В ПЛОТНОЙ ПЛАЗМЕ ВЧ ИНДУКЦИОННОГО РАЗРЯДА**Амиров И.И., Изюмов М.О., Наумов В.В.**

Ярославский Филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Физико-технологического института Российской академии наук,
150007, г. Ярославль, ул. Университетская, д. 21
e-mail:ildamirov@yandex.ru

Аннотация

Представлены результаты исследования тонких пленок полученных распылением WTi, Ta, Pt, Al, Cu, Cr и Co в плотной плазме Ar ($E_i < 150$ эВ) ВЧ индукционного разряда низкого давления и в ионно-химическом режиме распыления Co и Cr в Ar/O₂ плазме. Полученный набор данных хорошо согласуется с литературными данными.

Ключевые слова: плазма, травление, металлы, индукционный разряд, пленки

Введение

В технологии наноэлектроники уменьшением элементов интегральных схем до нанометровых размеров возрос интерес к процессам распыления их функциональных слоев ионами инертных газов [1,2]. Это обусловлено тем, что пленки и слои материалов нанометровой толщины можно с низкой дефектностью удалять при низкоэнергетической ($E_i < 200$ эВ) ионной бомбардировке. При этом решается проблема коррозионных загрязнений, возникающая при использовании процессов травления в хлорсодержащей плазме.

Для достижения высокой селективности процессы распыления необходимо проводить вблизи порога распыления при низкой энергии ионов, когда коэффициенты распыления металлов резко отличаются [3, 4]. Однако недостаточно высокая плотность ионного потока обычно используемых ионных источников и вследствие этого низкая скорость распыления сдерживает распространение такой технологии.

Скорость распыления можно увеличить, если ионное распыление проводить в реакторе плотной инертной плазмы ВЧ индукционного разряда с независимым управлением энергией и плотностью ионного потока [5, 6]. Другим способом получения высокой селективности травления является использование малых дозавок кислорода в плазму. В этом случае удаление пленок происходит в ионно-химическом режиме распыления.

В данной работе приведены результаты исследования влияния энергии ионов на скорость распыления пленок металлов (WTi, Ta, Pt, Al, Cu, Cr и Co) нанометровой толщины в плотной плазме Ar ВЧ индукционного разряда низкого давления ($P < 0.1$ Па), ионно-химического распыления пленок Co, Cr и травления пленки хрома в Ar/O₂/SF₆.

Эксперимент

Исследование распыления металлов проводили в реакторе плотной плазмы ВЧ индукционного разряда подробно описанном в [6]. Реактор состоит из двух камер – разрядной и реакционной. Плазма ВЧ-индукционного разряда ($f = 13,56$ МГц, $W = 1,0$ кВт) генерировалась в разрядной камере в магнитном поле, создаваемом магнитной катушкой (МК), распространялась в реакционную камеру.

Плотность и равномерность ионного потока зависела от протекающего в ней тока. В реакционной камере находился ВЧ-электрод, на который устанавливался образец. Для управления энергией бомбардирующих поверхность образца ионов, на электрод подавали определенную ВЧ мощность смещения P_{sb} ($f = 13,56$ МГц, $W = 600$ Вт). Образцами служили пластинки монокристаллического кремния, на окисленную поверхность которых методом магнетронного распыления были нанесены пленки металлов WTi, Ta, Pt, Cu, Cr и Co толщиной от 25 до 100 нм. Скорость распыления определяли по времени распыления пленок известной толщины. Время распыления контролировали по резкому изменению сигнала отраженного лазерного луча в момент окончания распыления пленки металла.

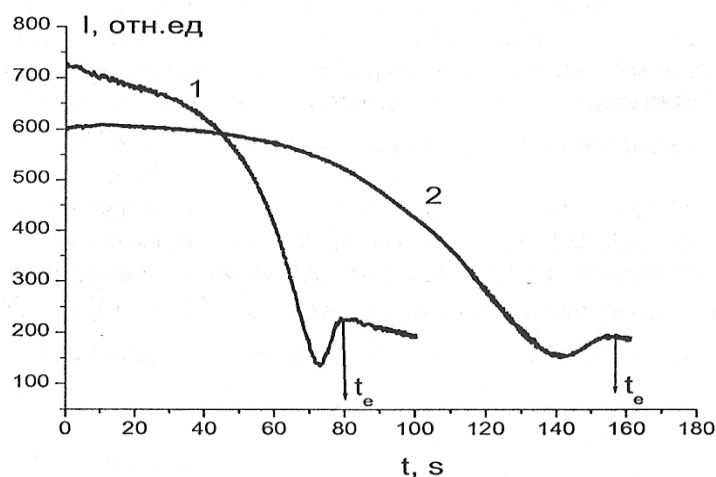
Плотность ионного потока J на подложку определялась из зависимости отрицательного потенциала самосмещения U_{sb} от подаваемой ВЧ мощности смещения, которая при разных токах была линейной. В предположении, что вся вкладываемая ВЧ мощность смещения затрачивается на ускорение ионов, плотность ионного тока определялась выражением:

$$J = \frac{\Delta P_{sb}}{\Delta |U_{sb}| S},$$

где S - площадь электрода. Она увеличивалась с 3.0 до 14.8 мА/см^2 с увеличением тока МК от 0.5 до 2.0 А. Энергия падающих ионов E_i определяется выражением:

$$E_i = e(U_p - U_{sb}),$$

где e - заряд электрона, U_p - потенциал плазмы, который считался равным 20V.



t_0 - начало распыления, t_1 - момент окончания распыления

Рис. 1 - Вид сигнала интенсивности отраженного лазерного пучка при распылении пленки металла в плазме Ar

Условия проведения эксперимента были следующими: $P=0,07$ Па, $W=800$ Вт. Расход Ar равнялся 10 sccm (standards cm cubic for minute). Неравномерность распыления материала по пластине диаметром 100 мм не превышала 5%.

Результаты и их обсуждение

Распыление пленок металлов Cu, Pt, Al и Cr в зависимости от потенциала самосмещения проводили при плотности ионного потока равной 5.2×10^{16} ион/ см^2 ($J=8.3$ мА/см^2) (рис.2). Видно, что скорости распыления пленок увеличивались в ряду Cu, Pt, Al и Cr. Это находится в согласии с данными коэффициента их распыления ионами аргона (таблица 1) [7]. За исключением распыления хрома. Более низкая скорость его распыления может объясняться влиянием находящихся в плазме примесей молекул кислорода. Они образуются в реакторе в результате десорбции со стенок реактора.

В соответствии с теоретическими данными (таблица 1) селективность распыления

пленок Cr/ WTi превышала 3 (рис. 3). Гораздо более высокая селективность распыления наблюдается для пленок Cu и Ta. При энергии ионов 120 эВ и плотности ионного тока 3 мА/см^2 скорость распыления Cu превышала скорость распыления Ta более чем в 6 раз. Это также находится в согласии с данными [7]. При такой энергии ионов скорость распыления металлов линейно увеличивалась с увеличением плотности ионного тока (рис. 4).

При ионно-плазменном распылении скорость распыления Co была выше скорости распыления Cr. Эти результаты отличаются от данных (таблица 1), где показано, что коэффициент распыления Cr был немного выше. Такое различие, возможно, объясняется наличием примесей кислорода в плазме. Маленькая (2.5%) добавка кислорода в аргоновую плазму приводила к замедлению скорости распыления Co и к полному прекращению распыления Cr. В последнем случае на поверхности пленки Cr образовывалась окисный слой металла.

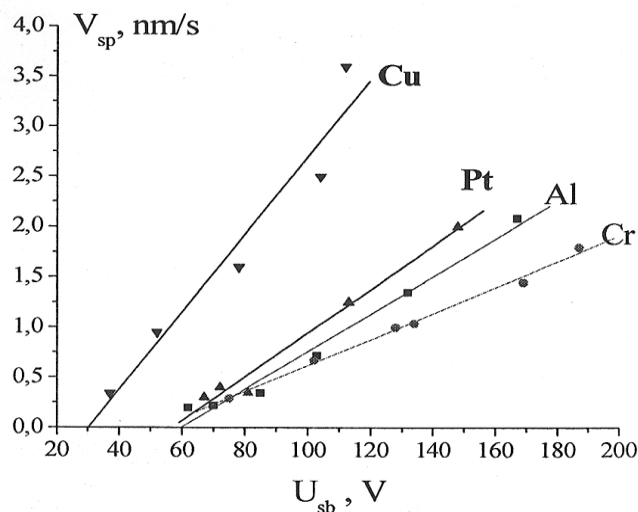


Рис. 2 – Зависимость скорости распыления пленок Cu, Pt, Al и Cr в плазме Ar от потенциала самосмещения. P=0.07 Па, W=800 Вт

Таблица 1 – Коэффициент распыления

Металл	Коэффициент распыления, 100 эВ, Ar+ [7]
Cu	0.43
Pt	0.18
Cr	0.22
Co	0.2
Al	0.13
W	0.06
Ta	0.06

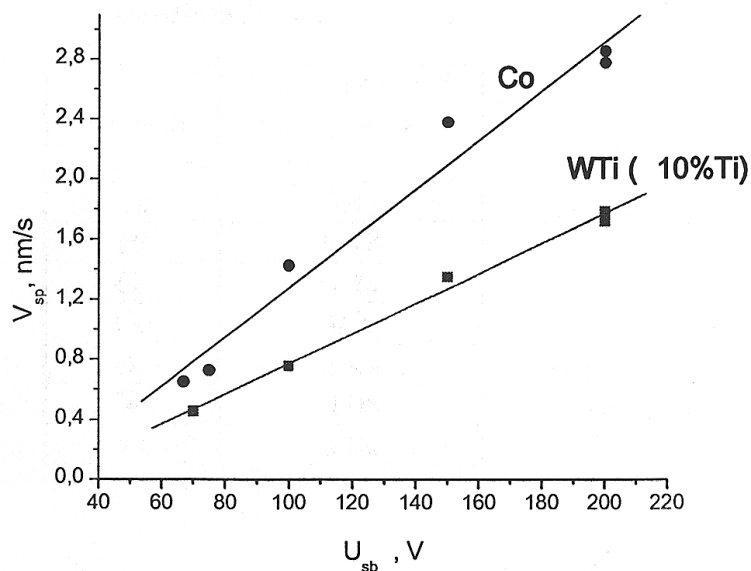


Рис. 3 – Зависимость скорости распыления пленки WTi и Co от потенциала самосмещения. P=0.07 Па, Q=10 ссм. W=800 Вт

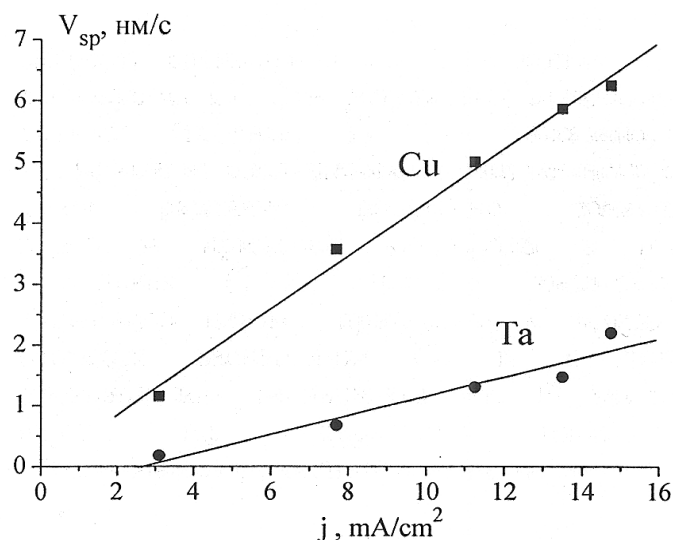


Рис. 4 – Зависимость скорости распыления распыления Cu и Ta от плотности ионного тока в плазме Ar при энергии ионов 120 эВ. $P=0.07$ Па, $Q=10$ сссм., $W=800$ Вт

Последующее распыление пленки с таким слоем в аргоновой плазме показало, что скорость ее распыления замедлилась на 10%. Прекращение распыления хрома с добавкой кислорода, по-видимому, объясняется тем, что ионы аргона сталкиваются не атомами хрома, а с адсорбированными атомами кислорода.

Небольшая добавка SF_6 в плазму Ar/ O_2 SF_6 приводила к увеличению скорости распыления пленки хрома (рис. 5). Она резко увеличивалась с увеличением содержания кислорода в смеси.

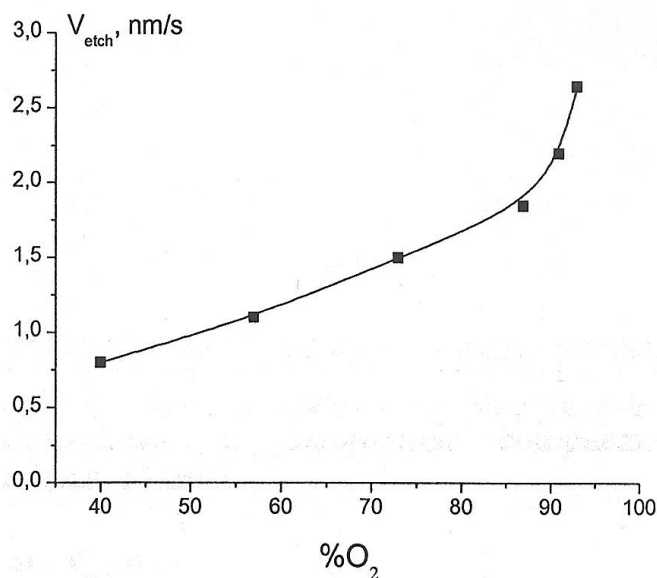


Рис. 5 – Зависимость травления пленки хрома (100 нм) от процентного отношения расходов O_2 и SF_6 в смеси Ar/ O_2 / SF_6 . $P=0.5-0.7$ Па, $E_i \sim 200$ эВ, $W_{cm} = 100-150$ Вт

Таким образом, показано, что в реакторе плотной плазмы можно селективно с высокой скоростью удалять слои металлов при низкоэнергетической ионной бомбардировке.

Величины полученных коэффициентов распыления металлов находились в качественном согласии с литературными данными.

Литература

1. Ikuse K., Yoshimura S., Hine K., Kiuchi M., Hamaguchi S. // *J. Phys. D: Appl. Phys.* **2009**. V. 42. P. 135203.
2. Sugiura K., Takahashi S., Amano M., Kajiyama T., Iwayama M., Asao Y., Shimomura N., Kishi T., Ikegawa S., Yoda H., Nitayama A. // *Jap. J. Appl. Phys.* **2009**. V. 48. P. 08HD02.
3. Технология тонких пленок. / Под. ред. Майсел Л., Глэнга З. **1977**. М.: Сов. Радио. 623с.
4. Распыление твердых тел ионной бомбардировкой 1. / Под ред. Бериша Р. **1984**. М.: Мир. 336с.
5. Cooke M. J., Hassall G. // *Plasma Sources Sci. Technol.* 2002. V. 11. P. A74.
6. Морозов О. В., Амиров И. И. // *Микроэлектроника*. **2000**. V. 20. P. 170.
7. Yamamura Y., Tawara H. // *At. Data Nucl. Data Tables*. **1996**. V. 62. P. 149.
8. Kawamura E, Vahedi V, Lieberman M.A., Birdsall S.K. // *Plasma Sources Sci. Technol.* **1999**. V. 8. P. R45.

ION AND ION-CHEMICAL ETCHING OF METAL FILMS IN DENSE PLASMA OF RF INDUCTIVE DISCHARGE**Amirov I.I., Izyumov M.O., Naumov V.V.**

Physics and Technology Institute of the Russian Academy of Sciences,
150007, Yaroslavl city, University Street, h. 21
e-mail: ildamirov@yandex.ru

Abstract

The results of investigation of sputtering WTi, Ta, Pt, Al, Cu, Cr and Co thin films by Ar ions at the low ion energy ($E_i < 150$ эВ) in Ar plasma and chemical sputtering of Co and Cr in Ar/O₂ plasma of RF inductive low pressure discharge are presented. The obtained data set is good consistent with the literature data.

ЖОҒАРЫ ЖИЛІКТІ (ЖЖ) ИНДУКЦИОНДЫ РАЗРЯДТАҒЫ ТЫҒЫЗ ПЛАЗМАДА МЕТАЛЛ МАТЕРИАЛДАРЫНА ИОНДЫ- ЖӘНЕ ИОНДЫ-ХИМИЯЛЫҚ ЖҰҚТЫРУ**И.И. Амиров, М.О. Изюмов, В.В. Наумов**

Ярославтағы Федералды Мемлекеттік ғылыми бюджетті мекеме,
Ресей ғылым академиясының физика- техникалық институт, 150007, Ярославль қ., Университетская көш, 21,
e-mail: ildamirov@yandex.ru

Аннотация

Жж индукциялық разрядтағы тығыз плазмадағы WTi, Ta, Pt, Al, Cu, Cr және Co негізінде бүркеу арқылы жұқа қабат алынды. Сонымен қатар плазмада ионды-химиялық режимде Ar/O₂ ортасында Co және Cr негізінде жұқа қабат алынды. Алынған нәтижелер әдеби деректермен сәйкес ұйқасымды келеді.