

# Influence of deposition parameters on properties of magnetron sputtered Ag films

А.А. Соловьев, Н.С. Сочугов, К.В. Оскомов

*Россия, 634055, Томск, пр. Академический, 2/3, Институт Сильноточной Электроники,  
Tel. +7-3822-491651, Fax +7-3822-491410, E-mail: andrewsol@mail.ru*

**Abstract – investigation of structure and growth modes of ultra thin silver films (with thickness up to 10 nm), deposited by DC and pulsed magnetron sputtering was carried out in this work. Obtained films were studied by atomic-force microscopy and spectral ellipsometry methods. It was shown that Ag films deposited by pulsed magnetron sputtering have better properties and less thickness of forming of continuous film in compare with films deposited in DC regime. Acquired results may be used for improving of characteristics of Low-e coatings with silver layers on architectural glasses.**

## 1. Introduction

Пленки металлов (Au, Ag, Cu) с наноразмерной толщиной нашли широкое применение в различных областях науки и техники, что обусловлено их уникальными свойствами, нехарактерными для материалов в массивном состоянии [1,2].

Ультратонкие пленки серебра обычно используются в составе многослойных структур, примером которых являются низкоэмиссионные покрытия на архитектурных стеклах [3]. Существует ряд публикаций, которые посвящены изучению механизмов роста пленок серебра [4-6]. Известно, что на большинстве подложек они растут по островковому механизму Вольмера-Вебера. Толщина формирования сплошной пленки зависит от метода осаждения и составляет 12-15 нм в случае термического испарения и ~ 9 нм при магнетронном распылении [7]. Это объясняется большей энергией распыленных атомов (до 10 эВ) по сравнению с термически испаренными (~ 0.1 эВ).

Задачей данной работы являлось исследование пленок серебра толщиной до 10 нм, получаемых магнетронным распылением при постоянном и импульсном потоке осаждаемых частиц на подложку с целью уменьшения толщины формирования сплошной пленки.

## 2. Experimental

Нанесение пленок осуществлялось с помощью планарного магнетрона с серебряным катодом, имеющим диаметр 120 мм. Непосредственно перед осаждением пленки подложки повергались

очистке ионами Ag, генерируемыми ионным источником с анодным слоем. Во всех экспериментах осаждение пленки производилось при давлении аргона 0.09 Па и средней мощности 0.45 кВт. Источник питания магнетрона позволял работать в режимах с постоянным током и импульсно-периодическим током частотой до 1000 Гц и регулируемой скважностью импульсов. Средняя скорость нанесения пленок в обоих случаях была одинакова и равнялась 36 нм/мин. Нанесение пленок производилось на стеклянные подложки со среднеквадратичной шероховатостью поверхности 0.5 нм.

Информация о морфологии поверхности пленок получалась с использованием атомно-силового микроскопа Solver P47 непосредственно после их осаждения.

В качестве дополнительного метода использовалось исследование полученных пленок с помощью быстродействующего спектрального эллипсометра. В результате определялись эллипсометрические углы Ш и Д, которые функционально связаны с оптическими параметрами (показатель преломления и поглощения, толщина пленки), определяемыми из этих углов с помощью математических вычислений. Исследования состояли из трех последовательных стадий: получение экспериментальных значений вышеуказанных углов, моделирование структуры пленки и получение на основе этой модели расчетных значений Ш и Д, изменение параметров модели для наилучшего совпадения результатов эксперимента и расчета.

## 3. Results

На первой стадии экспериментов были получены пленки серебра методом магнетронного распыления на постоянном токе. АСМ-изображения поверхности пленки со средней толщиной 4 нм показаны на рис. 1. Видно, что пленка толщиной 4 нм является не сплошной и обладает островковой структурой. На подложке имеются островки диаметром от 20 до 40 нм. Высота некоторых из них достигает величины 25 нм. При этом среднеквадратичная шероховатость пленки равняется 4 нм.

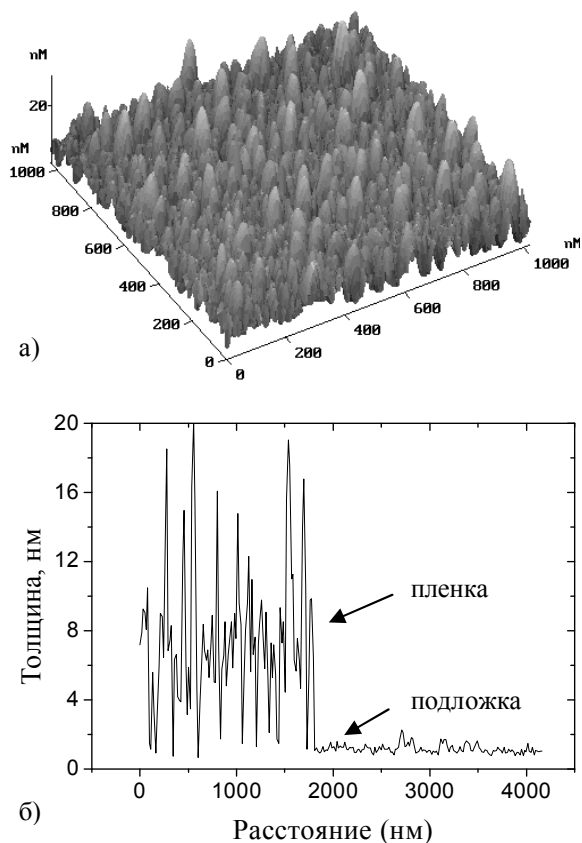


Рис. 1. АСМ-изображение (а) и профиль пленки (б) серебра толщиной 4 нм нанесенной магнетронным распылением на постоянном токе.

Пленка серебра становится сплошной, когда ее средняя толщина достигает значения 8 нм (рис. 2), что неплохо согласуется с литературными данными [7]. При этом она характеризуется небольшим средним размахом высот и низкой среднеквадратичной шероховатостью, которые составляют 2.6 нм и 0.99 нм, соответственно. Диаметр зерна пленки в среднем равняется 25 нм.

Данные пленки были также исследованы с помощью спектрального эллипсометра. На рис. 3 представлено сравнение экспериментальных и расчетных значений эллипсометрических углов, полученных для пленок толщиной 4 и 8 нм. Также на рисунке изображены данные, полученные для пленки серебра толщиной 1500 нм, которая является достаточно толстой, для того чтобы обладать свойствами объемного материала.

Значения  $\Psi$  и  $\Delta$  для толстой пленки хорошо согласуются с данными, представленными в работе [8]. Из графиков видно, что с увеличением толщины пленки характерные для нее значения эллипсометрических углов приближаются к значениям, свойственным объемному материалу.

При исследовании пленок были подобраны такие модели их структуры, которые позволили получить хорошее совпадение экспериментальных

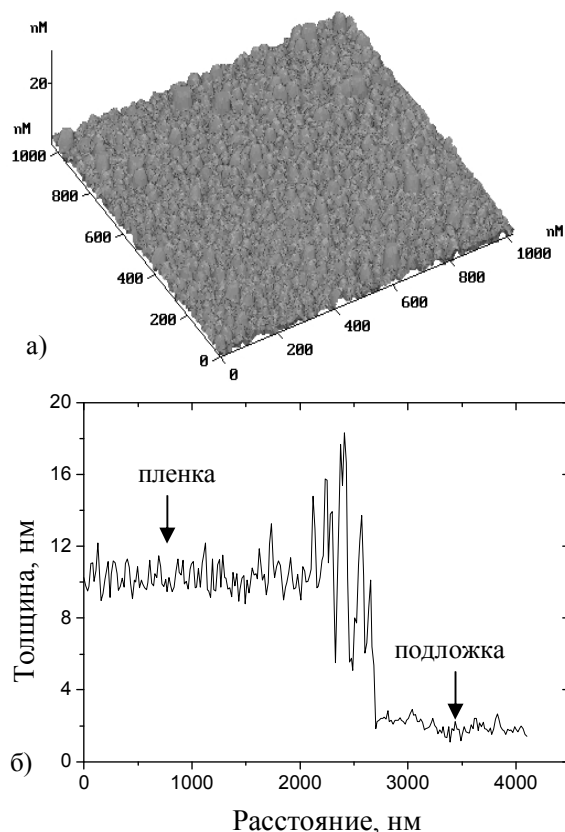


Рис. 2. АСМ-изображение (а) и профиль пленки (б) серебра толщиной 8 нм нанесенной магнетронным распылением на постоянном токе.

и расчетных данных, как это видно из рис. 3.

В обоих случаях серебряная пленка представлялась как однослойная, содержание пустот в которой градиентно увеличивалось от подложки к поверхности (рис. 4). Такой подход использовался для имитации островковой структуры пленки. Сечение островков представлялось в форме трапеции, соотношение верхней и нижней сторон которой определялось содержанием пустот в пленке (рис. 4).

Из найденных моделей структуры следует, что исследуемая пленка толщиной 4 нм не сплошная, не плотная и имеет большую шероховатость поверхности. Пленка толщиной 8 нм, наоборот, имеет сплошную и более плотную структуру. Эти данные хорошо согласуются с результатами, полученными посредством атомно-силового микроскопа.

С целью повышения сплошности и плотности ультратонких пленок серебра нами было предложено более подробно исследовать нанесение их магнетронным распылением на импульсном токе. Данный метод обычно используется в технологиях, где необходимы высокие скорости нанесения покрытий [9] и позволяет получать пленки при других физических

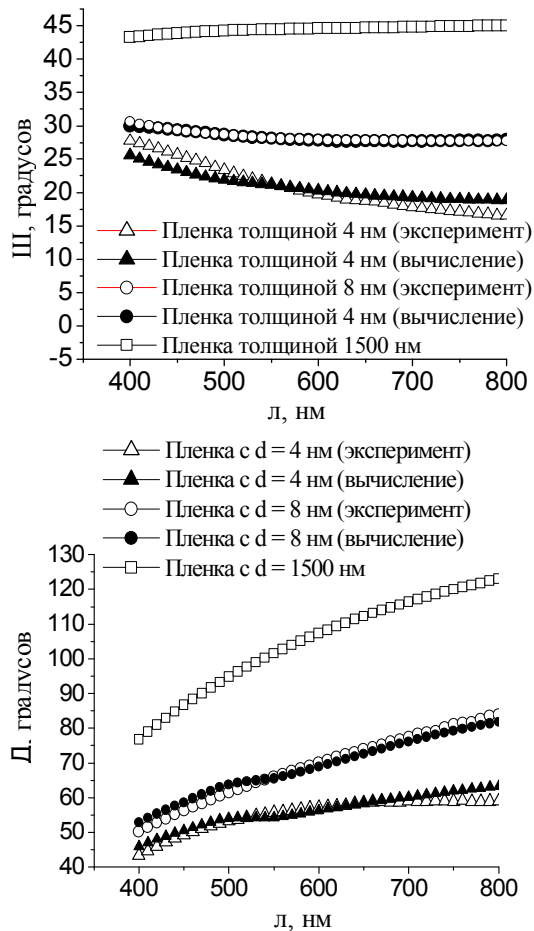


Рис. 3. Сравнение зависимостей измеренных и вычисленных значений эллипсометрических углов  $\Psi$  (а) и  $\Delta$  (б) от длины волны падающего света для пленок толщиной  $d = 4$  и  $8$  нм.

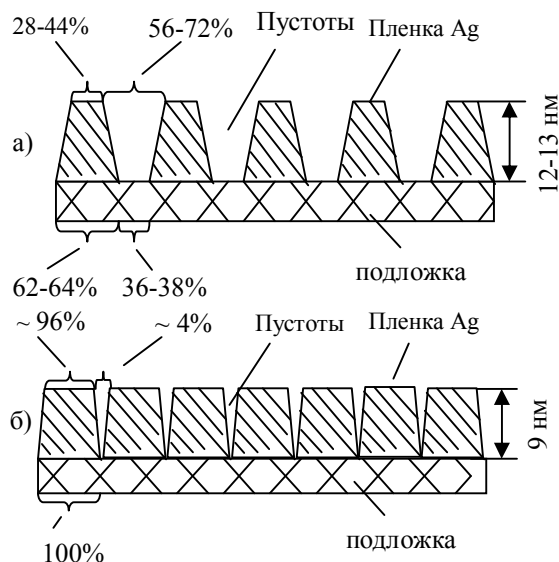


Рис. 4. Модели пленок серебра толщиной 4 (а) и 8 (б) нм, полученные при их эллипсометрических исследованиях.

условиях, т.е. при большей скорости конденсации осаждаемых частиц.

Известно, что скорость конденсации оказывает существенное влияние на закономерность роста покрытия в вакууме [10]. При скоростях 3-20 нм/мин рост пленки проходит следующие стадии: образование зародышей, дальнейшее зародышеобразование с одновременным слиянием соприкасающихся зародышей, рост частиц и заполнение каналов между ними без образования новых зародышей. При скорости конденсации 70 нм/мин происходит полная коалесценция (соприкосновение, слияние и вытеснение межзеренной границы) частиц. При скоростях 0.1 нм/мин наблюдается рост хлопьевидных конгломератов, состоящих из отдельных гранул после их коагуляции (соприкасающиеся друг с другом частицы механически объединяются в конгломерат без полного слияния). При этом внутри конгломератов остаются пустоты [11].

Были получены пленки серебра толщиной от 4 до 8 нм, наносимые магнетронным распылением на импульсном токе с частотой 100 Гц при скважности импульсов, равной 7.1. Обнаружено, что все полученные пленки являются сплошными. На рис. 5 и 6 представлены АСМ-изображения поверхности пленок толщиной 4 и 8 нм.

Характеристики поверхности пленки толщиной 8 нм слабо отличаются от параметров такой же пленки, нанесенной магнетронным распылением на постоянном токе. Она имеет среднеквадратичную шероховатость, равную 0.9 нм. У пленки толщиной 4 нм средний размах высот и среднеквадратичная шероховатость, равняются 1.8 нм и 0.5 нм, соответственно, что на порядок меньше чем у пленки, полученной на постоянном токе. Такое изменение параметров пленки обусловлено, по видимому, увеличением в 7 раз скорости конденсации осаждаемого материала на подложке во время следования импульса тока по сравнению со случаем, когда поток распыленных атомов осаждается на подложку непрерывно.

Полученные данные согласуются с утверждением, что повышенные скорости конденсации препятствуют поверхностной диффузии адатомов Ag по подложке [12].

Эллипсометрические измерения подтвердили утверждение о том, что пленки, наносимые импульсным магнетронным распылением, имеют более плотную структуру (рис. 7). Видно, что значения  $\Psi$  и  $\Delta$  пленки серебра толщиной 4 нм, нанесенной импульсным магнетронным распылением, находятся ближе к значениям, характерным для объемного материала.

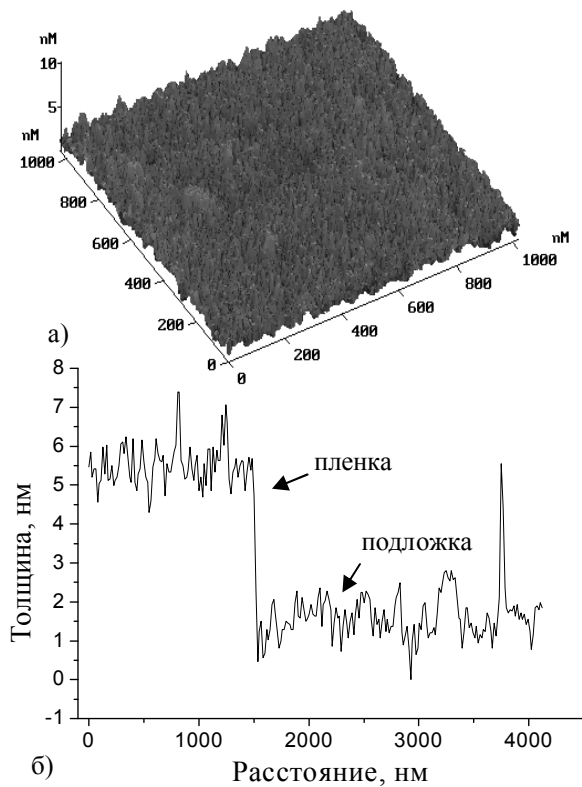


Рис. 5. АСМ-изображение (а) и профиль пленки (б) серебра толщиной 4 нм нанесенной магнетронным распылением на импульсном токе.

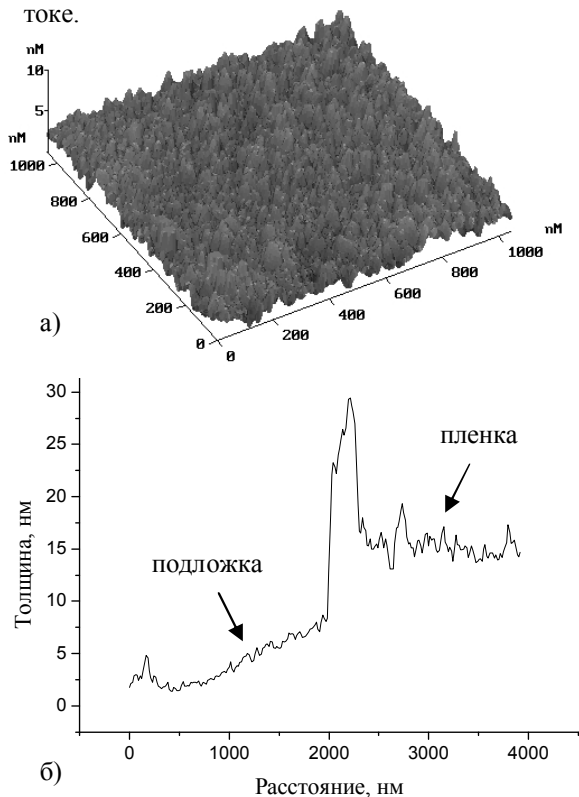


Рис. 6. АСМ-изображение (а) и профиль пленки (б) серебра толщиной 8 нм нанесенной магнетронным распылением на импульсном токе.

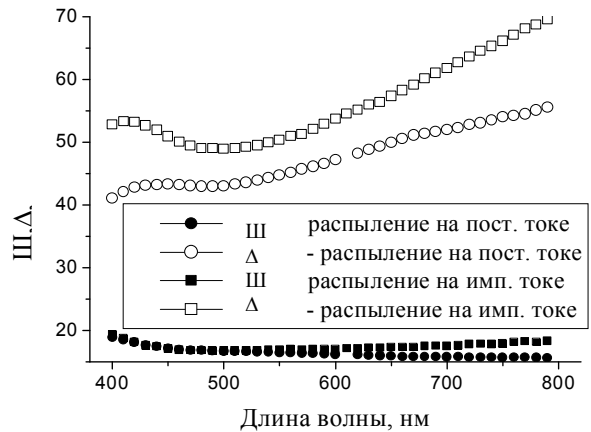


Рис. 7. Зависимости значений эллипсометрических углов  $\Psi$  и  $\Delta$  от длины волны падающего света для пленок толщиной 4 нм, нанесенных магнетронным распылением на постоянном и импульсном токе.

### Conclusion

В данной работе проведено исследование влияния такого параметра как скорость конденсации осаждаемого материала на подложку в процессе магнетронного напыления на структуру ультратонких (толщиной до 10 нм) пленок серебра. Показано, что импульсное магнетронное распыление позволяет вдвое уменьшить толщину формирования сплошной пленки Ag и значительно уменьшить шероховатость ее поверхности.

### References

- [1] M.B. Stearns, C-H. Chang, D.G. Stearns, J. Appl. Phys. **71**, 187 (1992).
- [2] M. Gijs and G. Bauer, Adv. Phys. **46**, 285 (1997).
- [3] M. Arbab, Thin Solid Films. **381**, 15 (2001).
- [4] K. Kushida, K. Hattori, S. Arai, T. Iimory, F. Komori, Surface Science **442**, 300 (1999).
- [5] G. Neuhold, L. Bartels, J.J. Paggel, K. Horn, Surface Science **376**, 1 (1997).
- [6] J.K. Fu, G. Atanassov, Y.S. Dai, F.H. Tan, Z.Q. Mo, J. Non-Cryst. Solids **218**, 403 (1997).
- [7] G. Leftheriotis, P. Yianoulis, Solar energy materials @ Solar cells **58**, 185 (1999).
- [8] A. Masten, P. Wissmann, Thin Solid Films **343-344**, 187 (1999).
- [9] J. Musil, J. Lestina, J. Vlcek, T. Tolg, J. Vac. Sci. Techn. **V.19(2)**, 420, (2001).
- [10] Палатник Л.С., Фукс М.Я., *Механизм образования и субструктура конденсированных пленок*, Москва, Наука, 1972, 320 с.
- [11] Тополянский П.А., в *трудах 7-й Международной практической конференции-выставки*, 2005, с. 316 – 333.
- [12] C. Charton, M. Fahland, Surf. Coat. Technol. **174-175**, 181 (2003).