

из-за тока утечки в течение генерации МИП не превышают 1% при удельном сопротивлении воды более 3 МОм·см.

Выполненные исследования показали, что эффективность передачи энергии из первичного емкостного накопителя (ГИН) ускорителя ТЕМП-4М в двойную формирующую линию составляет 40-50%. В то же время 85-90% энергии, накопленной в ДФЛ, поступает в диод, что обусловлено протеканием волновых процессов при хорошем согласовании генератора наносекундных импульсов напряжения с нагрузкой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Месяц Г.А., Проскуровский Д.И. Импульсный электрический разряд в вакууме.- Новосибирск: Наука, 1984. – 256 с.
2. Пушкарев А.И., Исакова Ю.И., Сазонов Р.В., Холодная Г.Е. Генерация пучков заряженных частиц в диодах со взрывоэмиссионным катодом. – М: ФИЗМАТЛИТ, 2013. – 240 с.
3. Matsuda M., Wang D., Matsumoto T., Namihira T. and Akiyama H. ENERGY TRANSFER EFFICIENCY OF NANO-SECONDS PULSED POWER GENERATOR FOR NONTHERMAL PLASMA PROCESSING // 3rd Euro-Asian Pulsed Power Conference/18th International Conference on High-Power Particle Beams. Abstract Book, Korea Electro-technology Research institute, – Korea, 2010. – 308 p.
4. Weizel W., Rompe R. // Annalen der Physik. – 1947. – V. 436. – Issue 6. – P. 285.

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ УСЛОВИЯ CVD-ОСАЖДЕНИЯ КАК ОПРЕДЕЛЯЮЩИЙ ФАКТОР В ФОРМИРОВАНИИ ПЛЁНОК КОБАЛЬТА С ЗАДААННЫМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Р.Р. Хайруллин, С.И. Доровских

Научный руководитель: доцент, д. ф-м. н. А.В. Панин

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

ФГБУН Институт неорганической химии им. А.В. Николаева СО РАН,

Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 3, 630090

E-mail: hairullin@list.ru

TEMPERATURE CONDITIONS OF CVD-DEPOSITION AS A DETERMINING FACTOR IN THE COBALT FILMS FORMATION WITH PREDETERMINED OPERATIONAL CHARACTERISTICS

R.R. Hairullin, S.I. Dorovskikh

Scientific Supervisor: Prof., Dr. A.V. Panin

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

Nikolaev Institute of Inorganic Chemistry SB RAS, Russia, Novosibirsk, Lavrentiev str., 3, 630090

E-mail: hairullin@list.ru

Co films were deposited on Si(100) substrates by chemical vapor deposition (CVD). $\text{Co}(\text{N}^i\text{acN}^i\text{ac})_2$ was used as a precursor. The sizes of coherent scattering region (CSR) and phase composition of studied Co films were

determined by the X-ray diffraction (XRD) analysis. The chemical composition was identified by the Energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDX). As a result of this work the effect of substrate temperature on the texture, sizes of CSR, phase and chemical composition of Co films was revealed. It was found that Co films consist of α -Co and β -Co crystals. Varying the substrate temperature allows to change widely the texture, sizes of CSR and chemical composition of Co films. The cobalt content and the texture degree of Co films are characterized by extreme substrate temperature dependence with a maximum at 320-330 °C. The size of CSR is weakly depends on the substrate temperature in the range of 300-330 °C but it starts to decrease at temperatures over 330 °C.

Введение Тонкие пленки кобальта и многослойные Co / X пленки, где X - другой металл или диэлектрик, являются предметом значительных научных исследований и вызывают большой интерес в связи с возможностью применения в устройствах хранения и записи информации с ультравысокой плотностью данных, а также во всевозможных регистрирующих аппаратах и датчиках [1].

В настоящее время существует множество методов получения металлических пленок, но среди них выделяется метод химического осаждения из газовой фазы (CVD). Данный метод является перспективным для производства, так как позволяет получать пленки высокой чистоты, с высокой однородностью толщины и состава, минимальными повреждениями подложки и высокими скоростями осаждения [2]. Однако существует проблема выбора оптимальных параметров осаждения для получения металлических пленок с заданными эксплуатационными свойствами, которые, в свою очередь, определяются структурой и химическим составом материала. Исходя из этого, целью данной работы является исследование влияния температуры подложки на структурные характеристики, фазовый и элементный составы тонких пленок Co, полученных методом CVD.

Материалы и методика эксперимента В работе исследовали тонкие пленки Co, нанесенные методом CVD на подложки Si (100). В качестве предшественника использовали дииминат кобальта $\text{Co}(\text{N}^i\text{acN}^i\text{ac})_2$. Длительность осаждения всех исследованных образцов составляла 4 часа, в качестве газа-носителя использовали Ar (скорость подачи 1л/ч), а в качестве газа-реагента - H_2 (скорость подачи 4 л/ч), давление в камере осаждения составляло 1 атмосферу. Температура испарителя была зафиксирована на 130⁰С, при этом температура подложки варьировалась в пределах от 300 до 340⁰С.

Рентгеноструктурный анализ (РСА) пленок проведен на дифрактометре DRON-SEIFERT-RM4 (Cu, $\lambda = 1.54051 \text{ \AA}$). Элементный состав установлен с помощью спектрометра EDX EX-2300BU. Все измерения проводили в атмосферных условиях при комнатной температуре.

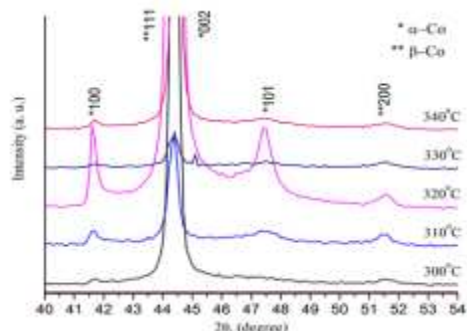


Рис. 1. Дифрактограмма образцов пленок Co, осажденных при различных температурах подложки

Результаты и их обсуждение Согласно данным РСА дифракционная картина для образцов Co, осажденных при температурах подложки $T_{\text{подл}} = 300\text{--}340^\circ\text{C}$, содержит наиболее интенсивное отражение, расположенное между $2\theta = 44,2\text{--}44,7^\circ$ (рис.1). Данный дифракционный пик включает в себя отражение от β -Co (111), имеющего ГЦК – решётку, на угле $2\theta = 44,3^\circ$, а также отражение от α -Co (002), характеризующегося ГПУ-решёткой, на угле $2\theta = 44,6^\circ$.

Кроме того, присутствуют дополнительные пики, соответствующие α -Co (100) ($2\theta = 41,7^\circ$), α -Co (101)

($2\theta = 47.6^\circ$) и β -Co (200) ($2\theta = 51.7^\circ$) (рис. 1). Интенсивность данных дифракционных пиков определяется температурой подложки. С увеличением температуры подложки от $T_{\text{подл}} = 300$ до $T_{\text{подл}} = 3200^\circ\text{C}$ интенсивность пиков повышается. Однако дальнейший рост температуры подложки до $T_{\text{подл}} = 330$ и 340°C приводит к постепенному их ослаблению. Стоит отметить, что пленки Co, полученные при температуре подложки $T_{\text{подл}} = 320^\circ\text{C}$, характеризуются ярко выраженной текстурой (максимальная высота дифракционных пиков), что говорит о высокой степени структурной упорядоченности данных пленок.

Размеры областей когерентного рассеяния (ОКР) в исследованных пленках Co представлены в таблице 1. Из таблицы видно, что размер ОКР пленок слабо зависит от температуры подложки в диапазоне температур от 300 до 3300°C . Однако с увеличением температуры до $T_{\text{подл}} = 340^\circ\text{C}$ размер ОКР начинает уменьшаться.

Методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии установлено, что температура подложки влияет на элементный состав пленок Co. Зависимость содержания кобальта в исследованных пленках от температуры их осаждения носит экстремальный характер. Как видно из таблицы 1, наряду с Co в пленках присутствуют атомы углерода, кислорода и азота. Причем, в пленках, осажденных при $T_{\text{подл}} =$

Таблица 1. Элементный состав и размер ОКР пленок Co, полученных при различных температурах

$T_{\text{подл}}$	Элементный состав	ОКР, нм
300	Co 84,8%; C 14,2%; O 0,1%; N 0,9 %	35
310	Co 86,5%; C 12, 6%; O 0,2%; N 0,7 %	26
320	Co 92,3%; C 7,2%; O 0,5%	33
330	Co 93,5%; C 6,0%; O 0,5%	26
340	Co 90,9%; C 8,8%; O 0,3%	20

300°C , содержание Co не превышает 85%. При увеличении температуры подложки до $T_{\text{подл}} = 330^\circ\text{C}$ содержание Co увеличивается до 93,5%, однако затем уменьшается до 90,9% при $T_{\text{подл}} = 340^\circ\text{C}$.

Заключение В результате проведенных исследований

установлено, что пленки Co, полученные методом химического осаждения из газовой фазы, содержат кристаллы α -Co и β -Co. Варьирование температуры подложки в процессе осаждения позволяет в широких пределах изменять текстуру, размер областей когерентного рассеяния и химический состав пленок Co. Содержание кобальта в пленках и их степень текстурированности характеризуются экстремальной зависимостью от температуры подложки с максимумом при температуре $320-330^\circ\text{C}$. Размер областей когерентного рассеяния слабо зависит от температуры подложки в интервале $300-330^\circ\text{C}$, но с превышением 330°C начинает уменьшаться. Таким образом, выбор оптимального сочетания параметров осаждения позволяет получать металлические пленки кобальта с требуемыми свойствами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Chioncel M. F, Haycock P. W. Cobalt thin films deposited by photoassisted MOCVD exhibiting inverted magnetic hysteresis // Chemical Vapor Deposition. – 2006. - № 12. – P. 670–678.
2. Chioncel M.F, Nagaraja H. S. Domain structures of MOCVD cobalt thin films // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. – 2007. – № 313. – P. 135–141.