

05.4; 12

© 1990

НИЗКООМНЫЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ КОНТАКТЫ
К $\gamma\text{-Ba}_2\text{-Cu}_3\text{-O}_{7-\delta}$ ПЛЕНКЕЮ.Д. Варламов, В.Ф. Врацких,
А.С. Золкин, М.Р. Предтеченский,
А.Н. Смаль, А.В. Турбин,
Ю.Г. Щухов

В настоящее время интенсивно ведутся поиски способов формирования низкоомных металлических контактов к ВТСП материалам с сопротивлением контактной области ρ_{\square} ниже $10^{-4}\text{-}10^{-5}$ Ом·см² [1]. В работе [2] нанесением серебряной пасты на пленку $\gamma\text{-Ba}_2\text{-Cu}_3\text{-O}_{7-\delta}$ (YBCO) с последующим отжигом в кислороде при температуре $T_0 = 1153$ К в течение $t = 40$ мин получены контакты с $\rho_{\square} = 3 \cdot 10^{-7}$ Ом·см². Применение такого метода в технологиях микроэлектроники при формировании элементов микронных и субмикронных размеров затруднительно. Кроме того, столь длительный высокотемпературный отжиг пленок ВТСП может приводить к ухудшению критических параметров ВТСП вследствие взаимодействия с подложкой [3].

В данной работе контакты наносились осаждением ионизированным кластированным пучком (ИКП) подобно [4] и лазерным напылением (ЛН) на сверхпроводящие пленки YBCO, полученные импульсным лазерным осаждением ВТСП на монокристаллические подложки SrTiO_3 и Al_2O_3 [5]. Особенность методов ИКП и ЛН состоит в том, что напыляемое вещество переносится от источника к поверхности в виде нейтральных и ионизированных ускоренных атомов и кластеров [4, 6]. Высокоэнергетичные частицы способны расплывать поверхность, очистить ее от адсорбированных примесей, разрушить деградированный поверхностный слой ВТСП [7]. Благодаря высокой подвижности, миграции осаждаемых частиц на поверхности данные методы позволяют получать металлические пленки с высокой адгезией при относительно низкой температуре поверхности.

В методе ИКП кластеры получались при конденсации в струе пара серебра, расширяющейся через сверхзвуковое сопло в вакуум (диаметр сопла 0.4 мм, давление пара в источнике 10^2 Па. Средний размер кластеров измерялся электростатическим анализатором энергий аналогично [4] при указанных условиях истечения и составлял 150 атомов/кластер. На входе сопла частицы ионизировались электронами с энергией 200 эВ, ускорялись в электрическом поле до энергии 2 кэВ и осаждались на подложки нагретые до температуры T'_0 : 298, 373, 473 К. Скорость осаждения измерялась кварцевыми микровесами и составляла $5 \cdot 10^{-10}$ м·с⁻¹. Расстоя-

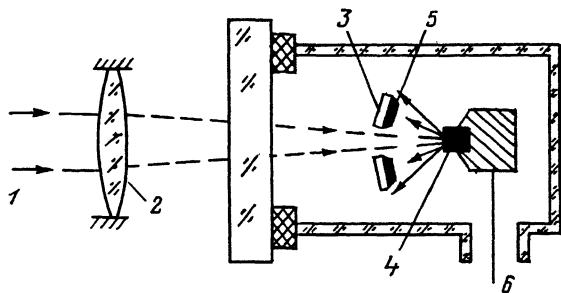


Схема нанесения серебряных контактов на ВТСП пленку :

1 - лазерное излучение; 2 - фокусирующая линза; 3 - подложка ($Al_2O_3, SrTiO_3$); 4 - серебряная мишень; 5 - пленка ВТСП; 6 - держатель мишени.

ние от сопла источника до поверхности 80 мм. Схема метода ЛН представлена на рисунке. Для испарения мишени из серебра использовался импульсный лазер ($\lambda = 1,06$ мкм, $E_{имп} = 50$ мДж, $\tau_{имп} = 15$ нс). Излучение фокусировалось в пятно диаметром 1,5 мм. Напыление происходило при комнатной температуре подложки. Давление в вакуумной камере составляло ~ 5 Па.

Сопротивление контактов измерялось по стандартной четырехзондовой схеме как сразу после напыления, так и после отжига в течение 8 мин в кислороде при атмосферном давлении. В таблице представлены данные по сопротивлению контактов ρ_{\square} , полученных методом ИКП, при различных энергиях кластеров E_K на подложках из сапфира при $T' = 373$ К. Видно, что сопротивление контактов после напыления и после отжига уменьшается при увеличении энергии ионизированных кластеров. Вероятно, это связано с разрушением, стравливанием деградированного слоя ВТСП пленки, который является одной из основных причин высокого сопротивления контактов, формируемых на ВТСП материалах. Обращает внимание относительно низкая температура отжига T_0 в сравнении с [2]. После отжига образцов при $T_0 = 973$ К в течение 8 мин были получены контакты со значением сопротивления $\rho_{\square} \leq 2 \cdot 10^{-8}$ Ом·см², определяемым пороговой чувствительностью регистрирующей аппаратуры. Сопротивление контактов, полученных методом ЛН сразу после напыления без последующего отжига, составило $\rho_{\square} \sim 10^{-5}$ Ом·см², что существенно ниже в сравнении с методом ИКП. После отжига при $T_0 = 773$ К сопротивление уменьшилось до $\rho_{\square} = 10^{-7}$ Ом·см².

С увеличением энергии осаждаемых частиц серебра улучшились и адгезионные свойства контактов. При этом наилучшую адгезию имели контакты, напыленные методом ИКП при температуре подложки $T' = 473$ К. С понижением температуры до 300 К адгезионные свойства существенно ухудшались. При лазерном методе адгезия

Зависимость удельного поверхностного сопротивления контактов от энергии частиц серебра

Номер образца	Удельное сопротивление, $\rho_{\square}, \text{Ом} \cdot \text{см}^2$		Энергия кластеров, $E_k, \text{кэВ}$
	После напыления	После отжига $T_0 = 673 \text{ К}$	
1	$4 \cdot 10^{-1}$	$6 \cdot 10^{-2}$	0
2	$1 \cdot 10^{-1}$	$3.4 \cdot 10^{-1}$	0
3	$4 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-8}$	2
4	$1 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-4}$	2

контактов была удовлетворительной, несмотря на низкую температуру подложки при напылении.

Следует отметить, что для напыления контактов использовались пленки, находящиеся длительно (месяцы) в окружающей атмосфере без предохранения от влаги и подвергавшиеся многократному термоциклированию в интервале температур 300–77 К. Известно [8], что атмосферное воздействие приводит к увеличению деградированного слоя ВТСП материала, однако использованные в данной работе методы формирования контактов позволили получить низкие значения контактного сопротивления. Вероятно, устранение влияния атмосферы, разрушающей сверхпроводимость, позволит получить более низкие значения

В заключение отметим, что низкоомные серебряные контакты к ВТСП пленке YBaCuO сформированы осаждением высокоэнергетичными ионизированными атомами и кластерами при относительно низкой температуре ВТСП пленки и малых временах отжига. Минимальное измеренное сопротивление контактной области (контакт-пленка ВТСП) составило $\rho_{\square} \leq 2 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$, что соответствует минимальному сопротивлению серебряных контактов, полученных напылением в вакууме на керамические образцы [9]. Полученные низкоомные контакты показывают перспективность использования ионизированных ускоренных частиц для формирования низкоомных контактов к ВТСП материалам при их использовании в микроэлектронике и электротехнике.

Авторы выражают признательность В.Е. Накорякову за полезное обсуждение и поддержку работы и С.И. Кожевникову за помощь в проведении экспериментов.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] E k i n J.W., P a n s o n A.J., B l a n k e n s h i p B.A. // Appl. Phys. Lett. 1988. V. 52. N 4. P. 331–333.

- [2] Tessler L.R., Dai V., Hesse N., Deutscher G. // J. Phys. D: Appl. Phys. 1988. V. 21. P. 1652-1653.
- [3] Gurvitch M., Fiory A.T. // Appl. Phys. Lett. 1987. V. 51. N 13. P. 1027-1029.
- [4] Такаги Т. // Pure and Appl. Chem. 1988. V. 60. N 5. P. 781-794.
- [5] Варламов Ю.Д., Врацких В.Ф., Предтеченский М.Р., Рыков А.И., Турбин А.В. Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. В. 22. С. 2068-2070.
- [6] Гапонов С.В. // Вестник АН СССР. 1984. № 12. С. 3-10.
- [7] Yamada I., Такаока Н., Inokawa H., Usui H., Cheng C., Такаги Т. // Thin Solid Films. 1982. V. 92. P. 137-146.
- [8] Barns R.L., Landise R.A. // Appl. Phys. Lett. 1987. V. 51. N 17. P. 1373-1375.
- [9] Tzend Y., Holt A., Ely R. // Appl. Phys. Lett. 1988. V. 52. N 2. P. 155-156.

Поступило в Редакцию
7 июля 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 6 26 марта 1990 г.

06.3; 07

© 1990

ОСОБЕННОСТИ АССОЦИАТИВНОГО ОПОЗНАВАНИЯ ОБЪЕКТОВ, ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫХ НА ПСЕВДОГЛУБОКОЙ ГОЛОГРАММЕ

Ю.Н. Денисюк, Н.М. Ганжерли

Проблема создания голографической ассоциативной памяти является в настоящее время одним из актуальных направлений развития оптических запоминающих устройств [1-8]. Для этой цели используются двумерные [1, 3, 6, 7], трехмерные [2, 4, 5] и волноводные [8] голограммы. Нами было предложено осуществлять ассоциативные операции с помощью так называемых псевдоглубоких голограмм, которые, занимая промежуточное положение между упомянутыми ранее типами голограмм, имеют ряд практических преимуществ [9-11].

Псевдоглубокая голограмма представляет собою наклонную тонкую голограмму, на которой сагиттальной системой пучков зареги-