

05.4

© 1991

ЛАЗЕРНОЕ ОСАЖДЕНИЕ ПЛЕНОК $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$
 НА Si С ДИФФУЗИОННО-СТОЙКИМ
 БУФЕРНЫМ ПОДСЛОЕМ ZrO_2

С.И. Красносвободцев, Е.В. Печень

Получение качественных пленок ВТСП на полупроводниковых подложках, необходимое для совмещения полупроводниковых и сверхпроводящих элементов в микроэлектронике, осложняется сильной взаимной диффузией этих материалов [1]. Уменьшение влияния диффузии может быть достигнуто применением безотжиговой методики [2] с использованием как высокой скорости осаждения [3] или пониженной температуры синтеза [4], так и промежуточного слоя из химически неактивного материала между подложкой и пленкой [5]. Пленки $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ на кремнии с критической температурой $T_c(R=0)=86\text{ K}$ и высокой токонесущей способностью были получены в работе [6] именно с применением эпитаксиального подслоя ZrO_2 .

В настоящей работе исследовалось влияние условий формирования буферного слоя ZrO_2 на его диффузионную стойкость и показана возможность применения метода гомоэпитаксии для нейтрализации взаимодиффузии материала ВТСП пленки и кремниевой подложки.

Пленки $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$, так же как и промежуточные слои ZrO_2 , выращивались импульсным лазерным испарением по безотжиговой методике с использованием двух твердотельных синхронизированных лазеров с длиной волны излучения 1.06 мкм , длительностью импульсов 10 нс , периодичностью 50 Гц [7]. Плотность энергии на мишенях (изготовленных из ВТСП керамики и металлического Zr соответственно) достигала $20\text{--}50\text{ Дж/см}^2$. Промышленные кремниевые подложки имели кристаллографическую ориентацию (100). Скорость осаждения составляла $3\text{--}5\text{ Å/с}$, толщина пленок ВТСП - $1500\text{--}2000\text{ Å}$, а ZrO_2 - около 200 Å .

Прямое нанесение на кремний подслоя ZrO_2 лазерной абляцией Zr при парциальном давлении кислорода $С.1\text{--}1\text{ Тор}$ и оптимальной температуре подложки ($700\text{--}800\text{ °C}$) не позволяло полностью подавить взаимную диффузию ВТСП и Si . Пленки, полученные на таком подслое, имели затянутый сверхпроводящий переход (рис. 1, кривая а). Этот результат мы связываем с наличием на поверхности кремния аморфизированного слоя SiO_2 и образованием на нем поликристаллической пленки ZrO_2 , по границам зерен которой осуществлялась значительная диффузия кремния.

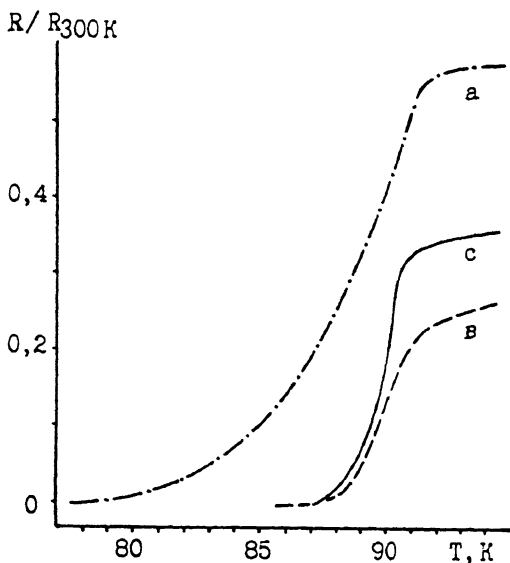


Рис. 1. Температурные зависимости сопротивления пленок $YBa_2Cu_3O_x$, приготовленных на подложках ZrO_2/Si , нормированные на их значения при $T=300$ К.

Улучшить диффузионную развязку нам удалось с использованием методики, основанной на гомоэпитаксии. Первые слои пленки ВТСП ($100-500 \text{ \AA}$) осаждались при пониженной температуре ($650 \text{ }^\circ\text{C}$), при которой диффузия кремния затруднена, а образующаяся фаза „123“ лишь слегка разупорядочена. Затем температура повышалась до оптимальной ($720-740 \text{ }^\circ\text{C}$), а процесс осаждения не прекращался вплоть до достижения необходимой толщины пленки. В этом случае даже при осаждении на поликристаллический подслой ZrO_2 , приготовленный без удаления естественного окисла SiO_2 , пленки имели сравнительно узкий сверхпроводящий переход (рис. 1, кривая б).

Существенного снижения диффузии кремния в пленку ВТСП можно ожидать при использовании монокристаллического покрытия ZrO_2 , однако для его формирования необходимо удалить слой естественного окисла с подложки и исключить образование SiO_2 во время нагрева кремниевой подложки при значительном парциальном давлении кислорода, необходимом для создания слоя ZrO_2 . В работе [6] была осуществлена технически сложная методика, позволяющая избежать образования слоя SiO_2 на поверхности Si , основанная на предварительном удалении его химическим травителем (смесь 1:10:1 из HF , C_2H_5OH и H_2O) и осаждением ZrO_2 без выноса на воздух при относительно низком ($4 \cdot 10^{-4}$ Тор) парциальном давлении кислорода. Обработывая кремниевые подложки

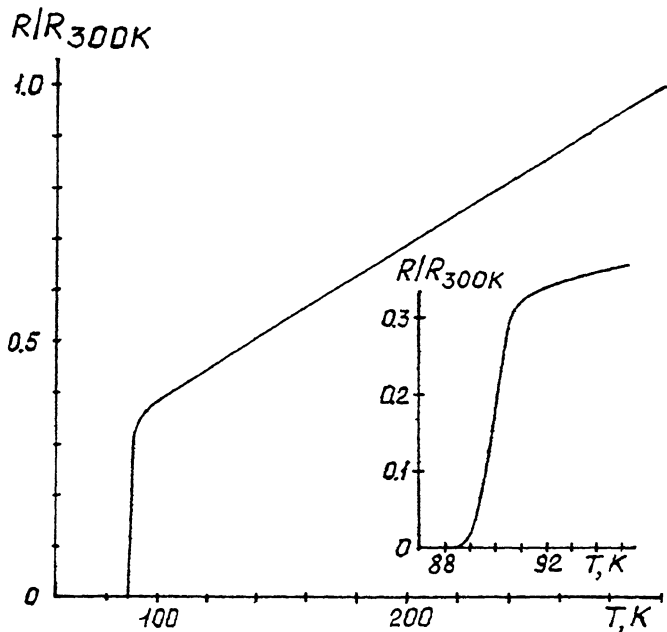


Рис. 2. Температурная зависимость сопротивления пленки $YBa_2Cu_3O_x$ на кремниевой подложке с подслоем ZrO_2 , приготовленным двустадийным методом, нормированная на его значение при $T=300$ К.

в таком травителе с экспозицией в несколько минут на воздухе и применяя лазерное испарение Zr в кислороде при 0.1 Тор, мы получали более качественные покрытия ZrO_2 , чем без травления. Об этом свидетельствует приведенный на рис. 1 (кривая в) сверхпроводящий переход полученной на таком подслое пленки $YBa_2Cu_3O_x$.

Однако лучшие результаты дала разработанная нами простая в реализации двустадийная методика создания диффузионно-стойкого барьерного слоя. Подложка нагревалась до температуры $650-800$ °С в вакууме (10^{-6} Тор) или в аргоне (0.2 Тор) и производилось лазерное испарение металлического циркония толщиной $10-20$ Å, задача которого заключалась в раскислении поверхностного слоя SiO_2 и предотвращении его регенерации непосредственно перед осаждением основного буферного слоя ZrO_2 . Затем в камеру напускался кислород и в тех же условиях, что и в предыдущих случаях, наносился основной буферный слой ZrO_2 толщиной около 200 Å. Такая методика позволяла получать прочное и сплошное эпитаксиальное покрытие. Кривая сверхпроводящего перехода пленки $YBa_2Cu_3O_x$ на кремниевой подложке с таким подслоем

(полученным без предварительного химического травливания SiO_2) показана на рис. 2. $T_c(R=0)$ данного образца составляет 88.5 К.

Таким образом, применение метода гомоэпитаксии и нанесение подслоя ZrO_2 на кремний при условии удаления тем или иным способом естественного окисла SiO_2 на его поверхности, позволяют в значительной степени подавить взаимодиффузию и получать качественные пленки ВТСП на кремниевых подложках.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Scheiv M., Goebel H., Hofmann L., Lengeler B., Oechsner H., Zorn G. // Thin Solid Films. 1989. V. 174. P. 5-9.
- [2] Головашкин А.И., Красносвободцев С.И., Печень Е.В., Родин В.В. // Информ. мат. рабочего совещ. по проблемам ВТСП. Свердловск: УРО АН СССР, 1987. Ч. 2. С. 216-217.
- [3] Berberich P., Tate V., Dietche W., Kiuder H. // Appl. Phys. Lett. 1988. V. 53. N 10. P. 925-926.
- [4] Nin R.J., Wu P.T. // Jap. J. Appl. Phys. Pt 2. 1989. V. 28. N 12. P. L2200-L2203.
- [5] Mogro-Campera A., Turner L.G. // Appl. Phys. Lett. 1988. V. 52. N 4. P. 1185-1186.
- [6] Fork D.K., Fenner D.B., Barton R.W., Phillips J.M., Connel G.A.N., Boyse J.B., Goeballe T.H. // Appl. Phys. Lett. 1990. V. 57. N 11. P. 1161-1163.
- [7] Golovashkin A.I., Ekimov E.V., Krasnosvobodtsev S.I., Martovitsky V.P., Pechen E.V. // Physica C. 1989. V. 162-164. P. 715-716.

Физический институт
им. П.Н. Лебедева
АН СССР, Москва

Поступило в Редакцию
19 января 1991 г.