

СВЕРХПРОВОДИМОСТЬ БЫСТРОКОНДЕНСИРОВАННЫХ ПЛЕНОК

*В.И.Петросян, О.И.Васин, С.И.Стенин,
Н.Ф.Бондаренко, П.А.Скрипкина*

На примере InSb показана возможность получения и стабилизации пленок кристаллических метастабильных сверхпроводящих фаз, имеющих структуру фаз высокого давления, путем быстрой конденсации на охлажденные подложки с последующей термообработкой.

Большой резерв сверхпроводников представляют фазы, возникающие при высоких давлениях (> 10 кбар) [1]. В [2] намечена принципиальная возможность получения таких фаз в пленках при скоростях конденсации, превышающих скорость фазовых переходов. В этом случае кристаллизация идет через промежуточные кристаллические метастабильные модификации. Однако малое время жизни метастабильных фаз в условиях [2] (десятые доли секунды) не позволило исследовать их свойства. В настоящей работе ставилось целью получение и стабилизация промежуточных фаз в пленках InSb , установление их природы и обнаружение сверхпроводимости.

Для изучения структурных превращений и сверхпроводящих переходов конденсация пленок осуществлялась в электронографе ЭР-100 или гелиевом криостате. В вакууме $\sim 10^{-6}$ тор пленки толщиной $L = 200 - 2000 \text{ \AA}$ наносились со скоростью $\sim 1 \text{ мкм/сек}$ одновременно на фольги Al или С для исследования структуры на просвет и стеклянные подложки для электрических измерений [3]. Температура подложек $T_{\text{П}}$ варьировалась в пределах $80 \div 400 \text{ К}$.

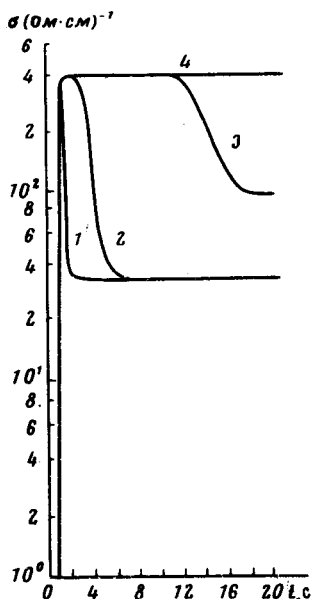


Рис. 1. Оциллограммы $\sigma(t)$, полученные в процессе конденсации пленок ($L = 1300 \text{ \AA}$) при $T_{\text{П}} = 263 \text{ К}$ (1), $T_{\text{П}} = 243 \text{ К}$ (2), $T_{\text{П}} = 233 \text{ К}$ (3) и $T_{\text{П}} = 213 \text{ К}$ (4). Отсчет времени ведется с момента включения испарителя. Конденсация заканчивается до появления пика проводимости

В изученных интервалах $T_{\text{П}}$ и L при конденсации образуется аморфная фаза с низкой удельной проводимостью σ (на рис. 1 — до пика проводимости). При $T_{\text{П}} > 200 \text{ К}$ в аморфной фазе происходит плавное увеличение радиусов координационных сфер, затем осуществляется спонтанная кристаллизация, что сопровождается резким возрастанием σ (см. рис. 1) и пленки превращаются в поликристаллическую смесь метастабильных фаз, аналогичных по структуре металлическим фазам высокого давления [4, 5]. Со временем за пиком проводимости метастабильные фазы переходят в смесь стабильных поликристаллических фаз сфалерита и вюрцита с полупроводниковой σ . Как видно из рис. 1, понижение $T_{\text{П}}$ увеличивает время жизни метастабильных фаз. Если для $T_{\text{П}} \approx 260 \text{ К}$ оно составляет $0,15 \text{ сек}$, то при $T_{\text{П}} \approx 230 \text{ К}$ — 12 сек .

$T, \text{ К}$	Структурный тип	$a, \text{ \AA}$	$b, \text{ \AA}$	$c, \text{ \AA}$	$\rho, \text{ г} \cdot \text{см}^{-3}$
200 ÷ 240	InSb IV	3,035	5,79	3,084	7,25
	InSb II (β -Sn)	5,982	—	3,181	6,92
	NaCl	6,120	—	—	6,85
> 240	Вюрцит	4,553	—	7,543	5,80
	Сфалерит	6,478	—	—	5,78

Пленки остаются аморфными при $T_{II} < 200$ К (рис. 2, область I). Нагрев таких пленок позволил определить температуры фазовых превращений. Вблизи 200 К аморфная фаза переходит в метастабильные, которые сохраняются до 240 К (область II), а выше 240 К стабильна смесь сфалерита и вюрцита (область III). В таблице приведены структурные типы, расчетные параметры решеток и плотности кристаллических фаз, наблюдавшихся при отогреве аморфных пленок в различных температурных областях. Число одновременно присутствующих метастабильных фаз ν зависит от типа подложки. В пленках, сконденсированных на Al фольге, предпочтительно возникает $InSb$ II, тогда как на C фольге, как правило, обнаруживается смесь всех фаз. При переходе в конечное состояние дольше всех сохраняется фаза с решеткой типа NaCl, плотность которой среди фаз высокого давления наименьшая.

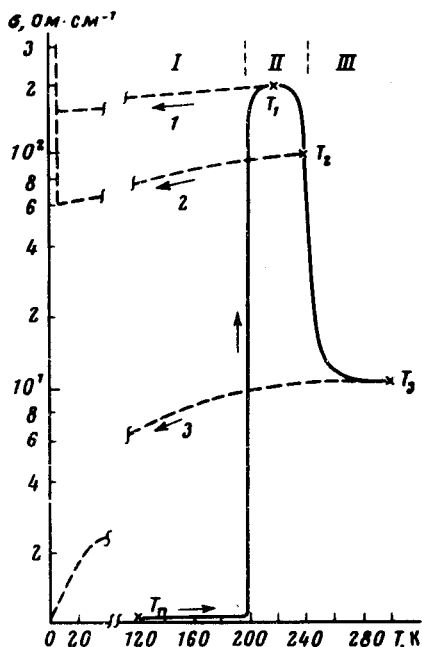


Рис. 2. Влияние термообработок на σ пленок, сконденсированных при $T_{II} < 200$ К

Полученные при нагреве аморфных пленок до 200 – 240 К метастабильные фазы "замораживаются" последующим охлаждением и в области гелиевых температур переходят в сверхпроводящее состояние. На рис. 2 показаны циклы термообработок пленок (штриховые линии 1, 2, 3), сконденсированных при $T_{II} = 120$ К, последовательно отогретых до T_1 , T_2 , и T_3 и охлажденных до гелиевых температур. Поведение при гелиевых температурах сопротивления пленок после указанных циклов представлено на рис. 3. Пленки метастабильных фаз, полученных по циклу 1, имеют резкий сверхпроводящий переход вблизи 4,1 К. Смесь сфалерита и вюрцита – цикл 3 – не обладает сверхпроводимостью вплоть до 1,5 К. Для пленок со смесью метастабильных и конечных фаз – цикл 2 – сверхпроводящий переход размывается и критическая температура понижается.

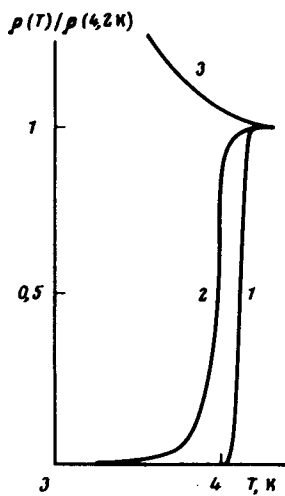


Рис. 3. Зависимости относительного удельного сопротивления пленок ($L = 300 \text{ \AA}$) от T после различных циклов термообработок. Нумерация кривых соответствует циклам термообработок рис. 2

Таким образом, обнаружено, что в условиях быстрой конденсации реализуется механизм кристаллизации через промежуточные метастабильные фазы высокого давления, обладающие сверхпроводимостью. Найденная закономерность носит, по-видимому, общий характер. В этом убеждают эксперименты с пленками Sb и Bi, которые переходили в высокопроводящее метастабильное состояние в интервалах 115 – 245 и 90 – 270 К соответственно. Полученные результаты открывают принципиально новые пути получения и стабилизации сверхпроводящих метастабильных фаз.

Институт физики полупроводников
Академии наук СССР
Сибирское отделение

Поступила в редакцию
26 апреля 1977 г.
2 июня 1977 г.

Литература

- [1] В.Буккель. Сверхпроводимость, М., изд. Мир, 1975.
- [2] В.И.Петросян, С.И.Стенин, П.А.Скрипкина, О.И.Васин, Микроэлектроника, 2, 265, 1973.
- [3] О.И.Васин, В.И.Петросян, С.И.Стенин, П.А.Скрипкина, Л.В.Пьянкова, А.А.Крошков. ПТЭ, №1, 181, 1977.
- [4] M.D.Banus, M.C.Lavine. J. Appl. Phys., 40, 409, 1969.
- [5] O.Shimomura, K.Asaumi, N.Sakai, S.Minomura. Phil. Mag., 34, 839, 1976.