

СВЕРХПРОВОДНИКОВЫЕ ТОНКОПЛЕНОЧНЫЕ БОЛОМЕТРЫ С РЕГУЛИРУЕМОЙ ШИРИНОЙ СВЕРХПРОВОДЯЩЕГО ПЕРЕХОДА

А.Ю. Блинов, М.М. Бонч-Осмоловский, Т.И. Галкина,
Б.А. Данильченко*, С.Х. Рожко*

Получены сверхпроводниковые тонкопленочные болометры с большим динамическим диапазоном, пригодные для регистрации тепловых импульсов вблизи 3,0 К (на основе олова) и 1,7 К (на основе алюминия).

Сверхпроводниковые тонкопленочные болометры используют благодаря их высокой чувствительности и быстродействию для регистрации слабых потоков электромагнитного излучения, детектирования неравновесных фононов в твердых телах при гелиевых температурах, а также волн первого и второго звука в сверхтекучем гелии /1/. Температурный интервал сверхпроводящего перехода (СП) для тонких пленок постоянного сечения из чистых металлов (Pb, Sn, In, Al) довольно узок; это обстоятельство требует высокой точности поддержания температуры и ограничивает динамический диапазон регистрируемых потоков. Применение известных способов уширения СП часто ограничено условиями конкретных экспериментов /2/.

В данной работе используются два способа уширения СП болометров: 1) перестройка ширины СП болометра из олова с переменным сечением за счет изменения тока смещения; 2) изменение ширины СП болометров из гранулированного алюминия за счет использования "краевого эффекта".

Если плотность проходящего через пленку тока смещения I близка к критической, то при увеличении I температура перехода T_c смещается в сторону низких температур /3/. Зависимость $T_c(I)$ определяется величиной поперечного сечения пленки. На рис. 1 представлены зависимости T_c от величины тока I для двух оловянных пленок различной ширины, причем T_c определялась из условия $R(T_c)/R(4,2) = 0,5$. Видно, что с увеличением тока появляется различие в T_c для этих двух пленок. Каждой величине тока I соответствует определенная разница величин T_c той и другой пленки, из чего следует, что если изготовить пленку с переменной шириной, то каждому значению ширины будет соответствовать своя величина T_c .

На вставке рис. 2а схематически показана форма болометра, реализующего идею пленки переменного сечения. Пленки Sn наносились методом термического испарения в вакууме на поверхность монокристаллического германия, покрытую слоем SiO_2 . Длина пленки, ограниченная контактными площадками из серебра, составляла 1,1 мм, ширина в узком месте 0,76 мм, в широком — 1 мм. Сопротивление пленок при комнатной температуре 300 Ом.

На рис. 2а приведены температурные зависимости сопротивления болометра $R(T)$ при различных значениях тока. При малых токах область СП сравнительно узка. При $I > 1$ мА начинается заметное расширение СП и смещение его в сторону низких температур. Выбирая соответствующим образом сечение пленки,

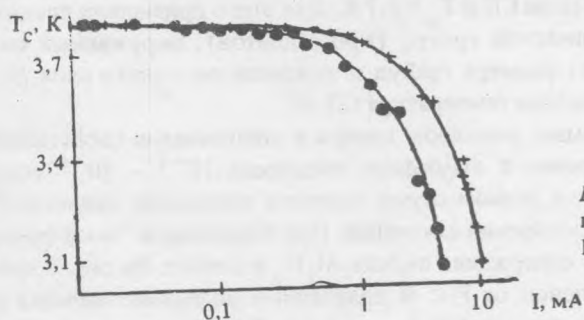


Рис. 1. Зависимость T_c пленок из олова от тока смещения I . Длина пленок 3 мм, ширина — 0,35 мм (●) и 0,65 мм (+), отношение $R_{300}/R_{4,2} = 3,6$.

* Институт физики АН УССР, г. Киев.

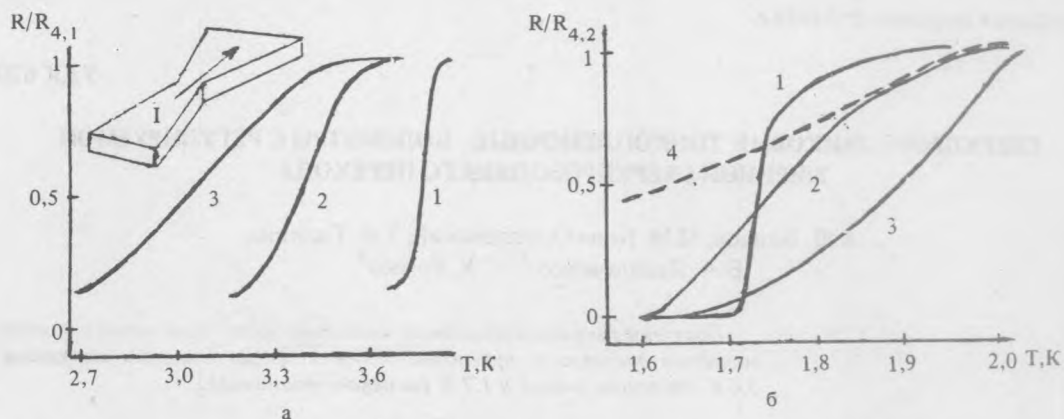


Рис. 2. а) Температурная зависимость приведенного сопротивления Sn болометра (показан на вставке) при различных значениях тока смещения: $I = 0,3$ мА (1), 3 мА (2), $I = 5$ мА (3). б) Температурная зависимость приведенного сопротивления Al болометров, полученных при различной величине зазора h между подложкой и маской: 1 - $h = 50$ мкм, $R = 1,10$ кОм, $I = 200$ мкА; 2 - $h = 200$ мкм, $R = 0,43$ кОм, $I = 200$ мкА; 3 - $h = 500$ мкм, $R = 6,57$ кОм, $I = 200$ мкА; 4-то же, что и кривая 3, но $I = 300$ мкА. Ширина болометров - 80 мкм, толщина - 300 \AA , длина - $7,2$ мм.

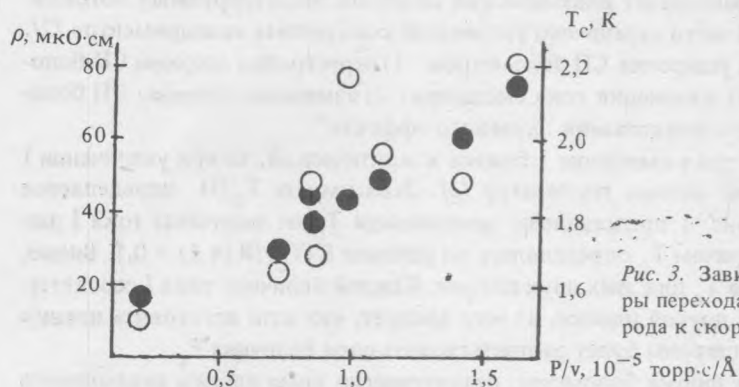


Рис. 3. Зависимость удельного сопротивления ρ (○) и температуры перехода T_c (●) Al болометров от отношения давления кислорода к скорости осаждения P/v .

можно получать СП различной ширины. Описанный болометр применялся в экспериментах с тепловыми импульсами для детектирования неравновесных баллистических фононов в области температур $3 - 3,5$ К /4/.

Таким образом, изменяя величину тока, можно управлять шириной СП болометра, что позволяет существенно расширить динамический диапазон регистрируемых тепловых потоков.

Для детектирования тепловых импульсов при оптическом возбуждении полупроводников потребовались болометры с протяженным ($0,5$ К) линейным участком СП и $T_c = 1,7$ К. Для этого применили пленки из гранулированного алюминия, состоящего из металлических гранул (кристаллитов), окруженных оксидной оболочкой. Свойства этого материала зависят от размера гранул и толщины оксидного слоя /5/. Чем меньше размер гранул в пленке, тем выше ее критическая температура СП /6/.

Для получения алюминиевых пленок с контролируемым размером гранул и стабильными свойствами на Si подложке применяли метод термического испарения в атмосфере кислорода $10^{-4} - 10^{-6}$ торр /6 - 8/. Физической величиной, от которой зависит T_c , в данном случае является отношение давления P кислорода в камере во время напыления к скорости v осаждения алюминия. При постоянном "коэффициенте прилипания" этот параметр может характеризовать содержание оксида Al_2O_3 в пленке. На рис. 3 приведена зависимость T_c и удельного сопротивления ρ пленок от P/v . В полученном диапазоне значений ρ пленки демонстрируют металлические свойства и характеризуются ростом ρ и T_c при увеличении P/v , что согласуется с результатами других работ /8/.

Если в процессе напыления маска и подложка отделены друг от друга конечным расстоянием, то на краях толщина пленки плавно убывает в результате подпыления (из-за того, что источник — не точечный), а локальное значение параметра R/v (а значит и T_c) возрастает /9/. Таким образом, пленка гранулированного алюминия с естественно образовавшимися краями представляет структуру с пространственно неоднородной критической температурой СП. Этот эффект использовали и ранее при изготовлении алюминиевых болометров /10/. В настоящей работе для реализации краевого эффекта во время осаждения пленки между маской и подложкой создавался контролируемый зазор (до 0,5 мм). Зависимости $R(T)$ таких болометров при токах 1 — 100 мкА совпадают с наблюдавшимися в /9/. При $I > 100$ мкА характеристики болометров с широкими краями сильно вылаживаются, причем T_c пленки смещается в сторону низких температур. Это связано с тем, что при возрастании тока все более заметный вклад в проводимость дает средняя часть поперечного сечения пленки, которая характеризуется наивысшей локальной скоростью осаждения, наибольшим размером гранул и наименьшей локальной T_c .

Характеристики болометров, приготовленных при разных величинах зазора h между маской и подложкой, приведены на рис. 26. Выбором тока можно добиться линейности характеристики (ср. кривые 3 и 4). Полученные болометры имеют сравнительно большой динамический диапазон (0,4 — 0,5 К) и высокую чувствительность (3 В/К при токе 300 мкА) и должны позволять регистрацию тепловых импульсов в диапазоне амплитуд $4 \cdot 10^{-6}$ — $4 \cdot 10^{-1}$ К.

Авторы благодарны О.Г. Сарбю за обсуждение ряда вопросов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хребтов И. А. ПТЭ, № 4, 5 (1984).
2. Kimber R. M., Rogers S. J. Cryogenics, 13, 350 (1973).
3. Maul M. K., Stranberg M. W. P., Kuhl P. L. Phys. Rev., 182, 522 (1969).
4. Гайдар А. В. и др. ФТТ, 29, 1456 (1987).
5. Deutscher G. et al. Phys. Rev., B, 21, 5041 (1980).
6. Pettit R. B., Silcox J. Phys. Rev., B, 13, 2865 (1976).
7. Abeles B., Cohen R. W., Cullen G. W. Phys. Rev. Lett., 17, 632 (1966).
8. Dynes R. C., Garno J. P. Phys. Rev. Lett., 46, 137 (1981).
9. De Lano R. B. Solid State Electron., 1, 381 (1960).
10. Блинов А. Ю., Бонч — Осмоловский М. М., Галкина Т. И. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 11, 12 (1984).

Поступила в редакцию 17 марта 1989 г.