

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что характеристики детекторов на СТК Джозефсона из ВТСП-керамики пока уступают соответствующим параметрам детекторов на ниобиевых точечных контактах. Проанализируем возможные причины этого. Во-первых, следует отметить, что подача напряжения смещения и съем сигнала с СТК осуществлялись через высокоомные индиевые контакты. Следствием этого являются дополнительные шумы перехода, приводящие к значительному ухудшению *МЭР*.

С другой стороны, ВАХ джозефсоновских СТК из  $YBa_2Cu_3O_{7-x}$  в области нулевой ступеньки сглажена, причиной чего является, по-видимому, множественность джозефсоновских переходов в контакте керамика-керамика [6]. Сглаживание ВАХ приводит к уменьшению величины отклика и, следовательно, к уменьшению вольт-ваттной чувствительности. Кроме того, по чисто технологическим причинам контакт из керамики сложнее согласовать с СВЧ-трактом, что приводит к дополнительному ухудшению характеристик детектора. Их повышение связано с разработкой низкоомных подводящих контактов и улучшением электродинамики СТК.

Авторы признательны Е.М. Гершензону за полезные замечания.

#### Л и т е р а т у р а

- [1] Moreland J., Ekin J.W., Goodrich L.F. - Phys. Rev., B: Condens. Matter., 1987, v. 35, N 6, p. 8856-8857.
- [2] Лихарев К.К., Мигулин В.В. - Радиотехника и электроника, 1980, т. 25, № 6, с. 1121-1142.
- [3] Meng X.F., Dai Y.D., Jiang H.M. - Solid State Comm., 1987, v. 63, 9, p. 853-855.
- [4] Ильин В.А., Любимова Т.Ф., Шурминова Т.М., Фатыхов К.З., Эткин В.С. Детекторы СВЧ-диапазона на эффекте Джозефсона, Препринт ИКИ АН СССР, Пр-694, М., 1982, с. 1-14.
- [5] Кауль А.Р., Грабой И.Э., Третьяков Ю.Д. Исследование высокотемпературных металлооксидных сверхпроводников, вып. 1, ИАЭ, М., 1987, с. 8-10.
- [6] Лихарев К.К. - ФТТ, 1973, т. 15, № 8, с. 2524-2527.

Московский педагогический институт им. В.И. Ленина

Поступило в Редакцию  
20 июля 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 22

26 ноября 1988 г.

### О СУБЛИМАЦИИ ПЛАТИНЫ ПРИ КАТАЛИТИЧЕСКОЙ ГЕТЕРОГЕННОЙ РЕКОМБИНАЦИИ АТОМОВ АЗОТА НА ЕЕ ПОВЕРХНОСТИ

Г.Н. Залогин, П.Г. Итин, В.В. Лунев, С.Л. Перов

Описанные ниже новые эффекты получены при проведении систематических экспериментальных исследований каталитических свойств материалов в высокочастотном индукционном плазмотроне,

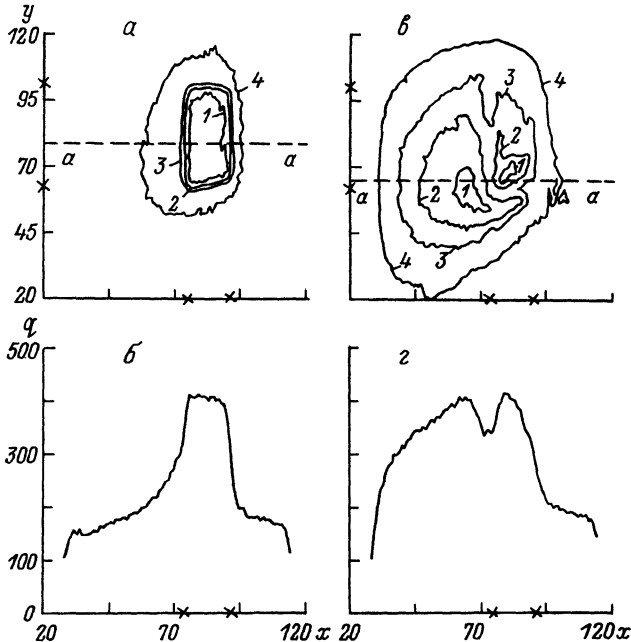


Рис. 1. Распределение тепловых потоков  $q$  кВт/м<sup>2</sup> по пластине в потоке воздуха (а и б) и азота (в и г). Звездочками на осях X и Y обозначены координаты границ платиновой пленки.

позволяющем получать химически чистые высокотемпературные ( $T \sim 6000-10000$  К) потоки различных газов и их смесей [1, 2].

Величины констант скоростей гетерогенной каталитической рекомбинации  $k_w$ , которые связаны с вероятностью рекомбинации соотношением  $k_w = \gamma \sqrt{\frac{kT_w}{2\pi m}}$ , определялись по разности тепловых потоков к испытываемому материалу на основе кварцевого стекла, и участку этого же материала с нанесенным слоем высококаталитической платины.

Модель обдувалась дозвуковым диссоциированным потоком воздуха или азота с параметрами  $\rho = 1.5 \cdot 10^3$  Н/м<sup>2</sup>,  $h_0 = 27 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$ ,  $v = 400$  м/с,  $T \approx 6800$  К.

Для измерения тепловых потоков и температур поверхности использовалась сканирующая ИК термовизионная система [3].

При наличии на обтекаемой поверхности скачка каталитической активности с меньшей величины на большую происходит также и скачкообразное увеличение теплового потока, диффузионная часть которого выражается формулой

$$q_d = k_w \rho_w h^0 C_w,$$

где  $h^0$  — энергия диссоциации,  $C_w$  — концентрация атомов на стенке. При обратном переходе с высококаталитической поверхности на низкокatalитическую происходит резкое уменьшение теплообмена. Фронт этих скачков размывается на длину порядка толщины пограничного слоя, которая в условиях экспериментов составляла  $\delta \sim 10$  мм.

Типичное распределение теплового потока на пластине низкокatalитического материала с участком, покрытым платиной, показано на рис. 1, а. Цифрами 1, 2, 3, 4 помечены изолинии теплового потока со значениями 400, 350, 300 и 200 кВт/м<sup>2</sup> соответственно. На рис. 1, б показано изменение величины теплового потока поперек модели в сечении а-а. Как следует из приведенных данных, процесс теплообмена в потоке диссоциированного воздуха отвечает сложившимся представлениям.

Но в экспериментах, проведенных в тех же условиях в потоке чистого азота, были обнаружены два качественно новых эффекта, которые не наблюдались в воздухе.

Во-первых, в потоке азота имел место унос платинового покрытия, составляющий величину  $\dot{m} \sim 10^{-3}$  кг/м<sup>2</sup>·с, что значительно превышает соответствующее значение в воздухе при тех же условиях, а также расчетное значение, которое при испарении в вакууме при  $T_w = 1700$  К составляет  $\dot{m} = 6 \cdot 10^{-8}$  кг/м<sup>2</sup>·с.

Во-вторых, ниже по потоку от участка, покрытого платиной, происходило существенное возрастание теплового потока в области, значительно превышающей толщину пограничного слоя (рис. 1, в, г).

Предлагается следующее объяснение этого феномена, основанное на предполагаемом отличии механизма взаимодействия атомов азота с платиной в отсутствии и при наличии кислорода:

При рекомбинации двух атомов азота (в потоке чистого азота) на активном центре поверхности платины выделяется энергия  $E = 9.6$  эВ, превышающая энергию испарения (сублимации)  $E = 5.85$  эВ. Эта энергия так же, как и в случае соударения с поверхностью частицы с большой ( $\sim 10$  эВ) энергией, не успевает передаваться большой совокупности атомов за счет механизма теплопроводности, и с некоторой конечной вероятностью может происходить выбивание атомов из решетки.

Если обозначить  $\dot{m}^*$  — экспериментально измеренный унос массы, а  $m = \frac{\alpha}{C_p} C_N \frac{M_{Pt}}{M_{N_2}}$  — унос массы в предположении, что каждый акт рекомбинации приводит к уносу атома Pt, то вероятность рассматриваемого процесса будет определяться их отношением  $\gamma^* = \frac{\dot{m}^*}{m}$ . В условиях данных экспериментов  $\gamma^* \sim 10^{-2}$  (вероятность рекомбинации атомов N на платине при высоких температурах  $\gamma \sim 1$ ).

Рекомбинация азота ниже по потоку и увеличение теплового потока происходят, например, за счет газофазных кatalитических реакций типа  $Pt + N \rightarrow PtN$ ,  $PtN + N \rightarrow Pt + N_2$ , в результате которых в пограничном слое устанавливается около-

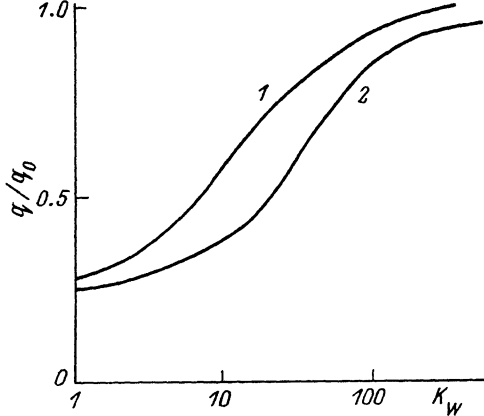


Рис. 2. Безразмерный тепловой поток, отнесенный к равновесному, в зависимости от каталитичности поверхности  $k_w$  м/с.

равновесный состав газа, при котором теплообмен практически не зависит от каталитических свойств поверхности.

В принципе увеличение теплового потока вне участка, покрытого платиной, можно объяснить также осаждением ее на поверхность кварцевого материала и протеканием обычных гетерогенных реакций рекомбинации. Однако эксперименты, проводимые в потоке воздуха сразу после азота, не дают возрастания теплообмена вне покрытия, что исключает возможность существования такого механизма в этих условиях.

Возникает вопрос, почему в воздухе, содержащем 77% азота, рассматриваемые эффекты отсутствуют. Это объясняется тем, что энергия диссоциации кислорода  $E = 5.1$  эВ меньше энергии испарения платины, и при рекомбинации атомов кислорода ее уноса не происходит. Азот же в присутствии кислорода рекомбинирует вблизи каталитической поверхности в газовой фазе через обменные реакции с участием молекул  $NO$  [4], и поэтому количество соударений атомов азота со стенкой значительно уменьшается.

В подтверждение этого на рис. 2 приведены кривые, характеризующие отношение  $q/q_0$  теплового потока к соответствующему равновесному значению, рассчитанные для условий эксперимента при варьировании констант скоростей гетерогенной рекомбинации кислорода и азота (кривая 1,  $k_w^{(O)} = k_w^{(N)}$ ), и варьировании только величины  $k_w^{(O)}$  (кривая 2,  $k_w^{(N)} = 0$ ). Как следует из приведенных данных, при  $k_w \rightarrow \infty$  ( $\gamma \rightarrow 1$ ) отличие рассчитанных таким образом тепловых потоков несущественно, что свидетельствует о рекомбинации атомов  $N$  в газовой фазе.

В потоке воздуха обсуждаемый эффект может проявляться при низкой каталитической активности материала по кислороду и конечной по азоту, как, например, для материалов на основе  $SiO_2$ , или при низких давлениях, когда обменные реакции заморожены.

Вновь обнаруженный физический эффект может быть назван эффектом „каталитической сублимации“. Детали его механизма будут уточняться в дальнейших исследованиях.

## Л и т е р а т у р а

- [1] Беспалов В.Л., Залогин Г.Н., Лунев В.В. и др. – Тез. докл. УШ Всесоюз. конф. по динамике разреженных газов. Москва, 24–26 сентября 1985 г., М.: МАИ, 1985, т. 1, с. 78.
- [2] Анфимов Н.А., Беспалов В.Л., Воронкин В.Г., Залогин Г.Н. и др. Гагаринские научные чтения по космонавтике и авиации 1983 г., 1984 г. М.: Наука, 1985. с. 181.
- [3] Анфимов Н.А., Итин П.Г., Копятевич Р.М. Сюсин А.В. Гагаринские научные чтения по космонавтике и авиации 1981 г., М.: Наука, 1983, с. 154.
- [4] Воронкин В.Г., Залогин Г.Н. – Изв. АН СССР, МЖГ, 1980, № 3, с. 156–158.

Поступило в Редакцию  
19 июля 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 22

26 ноября 1988 г.

### УПРУГАЯ РЕЛАКСАЦИЯ

### В СВЕРХПРОВОДЯЩЕЙ КЕРАМИКЕ $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$

З о н и н а ш в и л и В.В., И.А. Н а с к и д а ш в и л и

Существующие в настоящее время данные об упругих свойствах сверхпроводящих керамик на основе редкоземельных элементов получены в основном из акустических измерений, которые проводились в диапазоне частот  $5 \cdot 10^4 - 10^7$  Гц [1–3]. Расширение диапазона акустических исследований в область более низких частот может, с одной стороны, привести к более четкому пониманию тех аномалий, которые уже обнаружены в температурном спектре акустических свойств сверхпроводящих керамик, а с другой – к выявлению новых.

В настоящей работе представлены результаты исследований температурной зависимости поглощения звука и динамического модуля упругости в сверхпроводящей керамике  $Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$  на частотах 1.4 и 2.6 кГц в интервале температур 70–130 К.

Измерения проводились на образцах, полученных по обычной технологии синтеза соединений  $Y_2O_3$ ,  $BaCO_3$  и  $CuO$  при 1220 К с последующим прессованием и отжигом в кислородной атмосфере. Температура сверхпроводящего перехода  $T_c$ , измеренная индукци-