

05.4

© 1991

ТОЛСТОПЛЕНОЧНЫЕ ВТСП МАГНИТНЫЕ ЭКРАНЫ  
ДЛЯ ФОТОЭЛЕКТРОНИКИ

А.Д. Б р и т о в, Л.Н. К у р б а т о в,  
С.Н. М а к с и м о в с к и й, В.В. С к а р л ы к и н,  
Н.В. С о р о к о - Н о в и ц к и й, Н.А. С у л е й м а н о в,  
В.Т. Х р я п о в

В фотоэлектронике актуальна задача защиты малых объемов охлаждаемых фоточувствительных элементов от слабых магнитных полей помех. Традиционные методы экранирования недостаточно эффективны и требуют громоздких металлических конструкций. В ряде работ сообщается об изготовлении экранов из ВТСП керамики, ослабляющих магнитное поле в  $10^4$ - $10^6$  раз [1-3]. Однако в реальных фотоприемных устройствах их применение затруднительно из-за большой толщины стенок (несколько миллиметров), сложности получения нужных форм и низкой теплопроводности ВТСП. Поэтому перспективны миниатюрные магнитные экраны, получаемые нанесением пленочных ВТСП покрытий на охлаждаемые высокотеплопроводные детали конструкции фотоприемника.

В процессе отработки технологии получения ВТСП покрытий, предназначенных для изготовления магнитных экранов, измерялось ослабление поля в центре длинных пустотелых цилиндров при аксиальном направлении внешнего поля ( $H_{ex}$ ). Наличие торцевых стенок цилиндра необязательно. Их вклад в ослабление поля в центре цилиндрического экрана, при достаточной его длине, незначителен.

Для установления критерия достаточной длины цилиндра в соответствии с [4] в первом приближении можно считать, что составляющая поля в центре трубчатого экрана, обусловленная „провисанием“ внешнего поля,  $-H'_{in}$  - равна:

$$H'_{in} = 2H_0 e^{-3.83L/D} \quad (1)$$

где  $H_0$  - осевое поле на границе цилиндра.

Для оценки  $H_0$  при достаточно малых внешних полях  $H_{ex}$ , не превышающих нижнего критического поля  $H_{c1}$ , можно предположить, что интегральная плотность кольцевого тока постоянна по всей длине цилиндра и воспользоваться формулой для осевого значения поля на краю соленоида ( $H_0^c$ ) [5]:

$$H_0^c = \frac{1}{2} H_\infty^c \cos \arctg \frac{D}{2L}, \quad (2)$$

где  $H_\infty^c$  - поле внутри бесконечного соленоида.

Экспоненциальность зависимости (1) позволяет при  $\frac{L}{D} > 1$  считать, что  $H_\infty^c = H_{ex}$ . При этом

$$H_0 = H_{ex} - H_0^c \quad (3)$$

и окончательно получаем:

$$H_{in}^1 = 2H_{ex} \left( 1 - \frac{1}{2} \cos \arctg \frac{D}{2L} \right) e^{-3.83 \frac{L}{D}}. \quad (4)$$

ВТСП покрытия получены в совместной работе с ФИАН СССР. Покрытия наносились по биндерной технологии<sup>1</sup> на трубки из поликорунда (поликора). Таблетка из ВТСП керамики состава 1-2-3 растиралась в агатовой ступке. Получаемый мелкодисперсный порошок замешивался на натуральной олифе и наносился на внутреннюю и внешнюю поверхности поликорундовой трубки.

Двухсторонняя структура не усложняла процедуру получения экрана. Вместе с тем, она не эквивалентна простому удвоению толщины ВТСП покрытия, так как толстые слои более подвержены образованию микротрещин и других неоднородностей, ухудшающих параметры ВТСП материала.

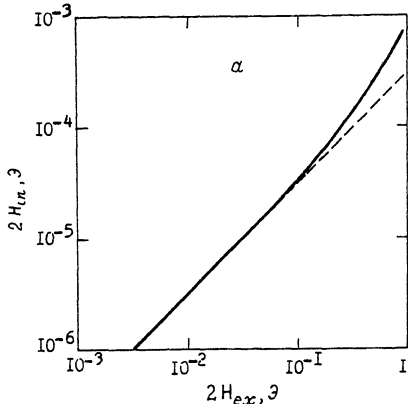
После насенения слоев образцы сушились в течение суток при комнатной температуре. Затем они отжигались в потоке кислорода при температуре 940 °С в течение 3 часов и медленно охлаждались вместе с печью в течение 10 часов.

Полученные однофазные толсто пленочные ВТСП покрытия обладали хорошей адгезией - они не растрескивались и не отслаивались при многочисленных термодиклах от комнатной до гелиевой температуры. Толщина покрытий составляла 150-200 мкм.

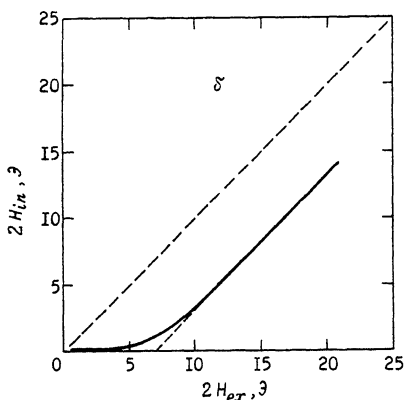
При исследовании экранов частота внешнего переменного поля устанавливалась в диапазоне 20 Гц - 200 кГц. Амплитуда поля достигала 50 Э на частотах до 1 кГц и 1 Э на частоте 100 кГц. Постоянное магнитное поле (за исключением геомагнитного) отсутствовало.

Индукционным датчиком магнитного поля внутри экрана ( $H_{in}^1$ ) служила катушка поляризованного магнитного реле РПС 45 диаметром 4 мм и высотой 5 мм с пермаллоевым сердечником. Чувствительность датчика, нагруженного на входное сопротивление селективного усилителя У 2-8 (1 МОм), достигала максимума на частоте около 100 кГц и составляла при этом 0,3 В/Э. Пороговое значение регистрируемых полей на этой частоте составляло  $10^{-7}$  Э.

<sup>1</sup> Метод впервые предложен Н.Е. Алексеевским и Ю.А. Денискиным.



а)



б)

Зависимость двойной амплитуды магнитного поля внутри экрана  $2H_{in}$  от двойной амплитуды внешнего поля  $2H_{ex}$  при температуре 30 К; а -  $2H_{ex} < 1$  Э,  $f = 100$  кГц, двойной логарифмический масштаб; б -  $2H_{ex} > 1$  Э,  $f = 3$  кГц, линейный масштаб.

Эксперименты проводились в специально сконструированном криостате с прокачной системой охлаждения гелием. В конструкции был предусмотрен обогрев ВТСП экрана до комнатной температуры теплым сухим азотом без контакта с атмосферным воздухом.

Исследуемый экран имел внешний диаметр 9 мм, внутренний - 7 мм, длину - 20 мм. Экран ослабляет магнитное поле амплитудой до 0.05 Э в  $3 \cdot 10^3$  раз при температуре 55 К. Оценка „провисания“ поля, выполненная для него по формуле (4), дает:  $H_{in}/H_{ex} = 7 \cdot 10^{-5}$  (в качестве значения диаметра экрана взято среднее значение диаметров внешнего и внутреннего покрытий). Поэтому измеряемая эффективность экранирования не искажена „провисанием“ внешнего поля и характеризует экранирующие свойства исследуемых ВТСП покрытий.

Измерения эффективности экранирования на различных частотах показали, что в диапазоне 20 Гц - 200 кГц ослабление магнитного

поля не зависит от частоты. Поэтому экранирование магнитных полей с амплитудой до 1 Э измерялось на частоте 100 кГц, где чувствительность измерительной системы была близка к максимальной. При измерении ослабления больших полей частота уменьшалась до 1 - 10 кГц.

Зависимость двойной амплитуды экранированного поля от двойной амплитуды внешнего поля (см. рисунок, а) при температуре 30 К до значений  $2H_{ex} \sim 0.08$  Э линейна (с коэффициентом  $3 \cdot 10^{-4}$ ), а затем очень плавно отклоняется вверх. В больших внешних полях зависимость переходит на второй линейный участок с единичным наклоном (см. рисунок, б), характеризующий насыщение экрана. Нижнее критическое поле  $H_{c1}$ , определяемое по этому участку зависимости, составило 7 Э. Большая размытость перехода от режима максимального экранирования к режиму насыщения указывает на существенную неоднородность пленки.

Величина достигнутых предельных экранируемых полей превышает известные авторам опубликованные данные и сравнима с реальными амплитудами полей помех. Это имеет принципиальное значение и позволяет, при необходимости, увеличить ослабление магнитных наводок за счет введения дополнительных ВТСП покрытий. Кроме этого, эффективность экранирования может быть повышена при использовании более компактных и замкнутых конструкций экрана. Таким образом, уже на достигнутом уровне технологии возможно создание эффективного многослойного экрана на основе толстоплёночных ВТСП покрытий для защиты охлаждаемых фотоприемников от магнитных наводок.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Введенский В.Л., Грабой И.Э., Кауль А.Р. В кн.: Сверхпроводимость / Под ред. Ожогина В.И. М.: ИАЭ, 1987. Вып. 1. С. 78.
- [2] Shigematsu K. et al. // Jap. J. Appl. Phys. 1989. V. 28. N 5. P. L813.
- [3] Бакуменко В.Л., Бригов А.Д., Гольденвейзер А.А., Курбатов Л.Н. и др. В кн.: Тез. докл. 1 Всес. конф. по физическим основам твердотельной электроники. Л., 1989. Том В. С. 106.
- [4] Symko O.G., Yen W.J., Zhen'g D.J. // J. Appl. Phys. 1989. V. 65. N 5. P. 2142.
- [5] Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике. М.: Наука, 1974. 434 с.

Поступило в Редакцию  
3 июля 1990 г.  
В окончательной редакции  
23 августа 1991 г.