

УДК 537.312.62

К ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПОВЕРХНОСТНОГО СВЧ ИМПЕДАНСА
ВТСП ПЛЕНОК К ОПТИЧЕСКОМУ ВОЗБУЖДЕНИЮ

В. М. АРУТЮНЯН, В. В. БУНИАТЯН

Ереванский государственный университет

(Поступила в редакцию 17 декабря 1996г.)

В работе изучено влияние модулированного по интенсивности излучения на составляющие поверхностного СВЧ импеданса ВТСП пленок.

Открытие высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП) и развитие технологии их получения в виде пленок позволяет реализовать чувствительные СВЧ устройства миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов волн, работающие при азотном уровне температур (см., например, [1, 2]). Заметный интерес проявляется в последние годы к изучению свойств сверхпроводника при воздействии на него лучистой энергии (лазерного излучения, инфракрасного возбуждения, звука и т. д.). Дополнительное к тепловому разрушение куперовских пар в обычных сверхпроводниковых тонких пленках под лазерным пучком исследовалось еще в начале 70-х годов (см., например, [3]), в результате чего был сделан вывод, что образование дополнительных неспаренных электронов уменьшает ширину щели, но само сверхпроводящее состояние не разрушается вплоть до вполне определенных концентраций дополнительных электронов. Вышеуказанное явление взаимодействия фотонов с энергетической щелью в ВТСП пленках и распада пары сверхпроводящих электронов может быть использовано для обнаружения слабых сигналов очень коротких волн, т. е. для создания высокочувствительных оптических детекторов. Реализованная на практике высокая чувствительность ВТСП пленок из YBaCuO_x к оптическому возбуждению (см., например, [4]) открывает возможность реализации также оптических переключателей [5], смесителей [6], линий задержек [7] и других оптически управляемых СВЧ приборов.

Целью настоящей работы является анализ зависимости фоточувствительности составляющей СВЧ-поверхностного импеданса ВТСП пленок при воздействии на них модулированного по интенсивности оптического возбуждения. В этой статье, в отличие от цитируемых выше работ, под оптическим возбуждением понимается облучение пленки модулированным по интенсивности инфракрасным или видимым излучением. Ясно, что если на ВТСП пленку падает модулированный оптический сигнал $\Phi = \Phi_0(1 + \sin \omega_s t)$, где Φ_0 —интенсивность излучения, ω_s —частота, t —время, то активная и реактивная

составляющие поверхностного импеданса модулируются по закону «накачки».

Примем, что при поглощении ВТСП пленкой оптического излучения с интенсивностью Φ имеет место некоторый переборс электронов через сверхпроводящую шель, при этом температура пленки существенно не меняется, а общая концентрация электронов в рамках двухжидкостной модели $n = n_s + n_N = n_{s\Phi} + n_{N\Phi}$ и сверхпроводящее состояние сохраняются. Тогда концентрация электронов в сверхпроводящем состоянии n_s уменьшается, а концентрация обычных электронов n_N увеличивается на одну и ту же величину Δn_Φ .

Имеем

$$n_{R\Phi} = n_s - \Delta n_\Phi = n_{sT}(1 - f_1), \quad n_{N\Phi} = n_N + \Delta n_\Phi = n_{NT}(1 + f_1), \quad (1)$$

где $\Delta n_\Phi \approx C\Phi_0(1 + \sin\omega_s t) = n_{NT}f_1 = n_{sT}f_2$, $f_1 = f_1^0\Phi_0$, $f_2 = f_2^0\Phi_0$, C — произведение коэффициента поглощения света на квантовый выход и среднее время существования возбужденных электронов; смысл f_1 и f_2 ясен из (1).

Известно, что в ВТСП пленках при $d \ll \lambda_L$, где d — толщина пленки, а λ_L — лондоновская глубина проникновения, активная и реактивная составляющие поверхностного импеданса, полученные на основе двухжидкостной модели (см., например, [2]), при $t_c = T/T_c < 1$ выражаются как

$$R_s(t_0) = (\omega\mu_0)^2 \frac{\lambda_L^2(t_0)}{d} \sigma_N(t_0), \quad X_s(t_0) = \omega\mu_0 \frac{\lambda_L(t_0)}{d}, \quad (2)$$

где

$$\lambda_L^2(t_0) = \frac{m_s}{n_s q^2 \tau_N}, \quad \sigma_N(t_0) = \frac{n_N q^2 \tau_N}{m_N}, \quad (3)$$

T — температура образца; T_c — критическая температура; ω — частота СВЧ поля; μ_0 — магнитная постоянная вакуума; τ_N — проводимость, связанная с нормальным состоянием; m_s, m_N, n_s, n_N — эффективные массы и концентрации электронов в сверхпроводящем и нормальном (несверхпроводящем) состояниях, соответственно; τ_N — время жизни нормальных электронов; q — заряд электрона. Тогда для составляющих импеданса $R_{s\Phi}(t_0)$ и $X_{s\Phi}(t_0)$ из (2) получим:

$$R_{s\Phi} \approx R_s(t_0)\{1 + 2f_2 + f_1 + 2f_1 f_2\}, \quad X_{s\Phi} \approx X_s(t_0)\{1 + f_2\}. \quad (4)$$

Введем понятие оптической чувствительности составляющих поверхностного импеданса $S_{R\Phi}$ и $S_{X\Phi}$. Для них из (4) нетрудно получить

$$S_{R\Phi} = \frac{1}{R_s(t_0)} \frac{\partial R_{s\Phi}(t_0)}{\partial \Phi_0} = 2f_2^0 + f_1^0 + 4f_1^0 f_2^0, \quad S_{X\Phi} = \frac{1}{X_s(t_0)} \frac{\partial X_{s\Phi}(t_0)}{\partial \Phi_0} = f_2^0. \quad (5)$$

Очевидно, что темп роста $S_{R\Phi}$ с интенсивностью излучения (оптическая чувствительность по R) больше, чем чувствительность $S_{X\Phi}$ по X . Аналогично, для массивного ВТСП материала, где

$$R_{SM}(t_0) = \frac{1}{2} (\omega \mu_0)^2 \epsilon_L^2(t_0) \epsilon_A(t_0), \quad X_{SM}(t_0) = \omega \mu_0 \epsilon_L(t_0), \quad (6)$$

ретрудно получить такое же соотношение между чувствительностями, так как

$$R_{S\Phi} \approx R_S(t_0) \left(1 + f_1 + \frac{3}{2} f_1 f_2\right), \quad X_{S\Phi} \approx X_S(t_0) \left(1 + \frac{f_2}{2}\right), \quad (7)$$

а S_{RM} и S_{XM} равны

$$S_{RM} \approx f_1^0 (1 + 3f_2), \quad S_{XM} \approx \frac{1}{2} f_2^0. \quad (8)$$

Отметим что, вышеуказанный более быстрый рост R_S с освещением по сравнению с ростом X_S наблюдался в [4] для YBaCuO_x пленок и, по-видимому, носит общий характер в силу очевидных неравенств $S_{R\Phi} > S_{X\Phi}$ как для тонких пленок, так и для массивных образцов.

Настоящая работа выполнена в рамках гранта INTAS—94-3912.

ЛИТЕРАТУРА

1. О. Г. Вендик и др. СФХТ, 3, 2133 (1990).
2. O. Vendik et al. Models of HTSC Transmission Lines as Applied for CAD of Microwave Integrated Circuits. Rep. № 9 ISSN 1103—4599, ISRN CTH-MVT-R-9-SE, 1994.
3. L. R. Testardi. Phys. Rev. B4, 2189 (1971), C. S. Owen and D. F. Scalapino. Phys. Rev. Lett., 28, 1559 (1972), W. H. Parker and W. D. Williams, ibid., 29, 924 (1972).
4. E. Carlsson, S. Gevorgian, et al. Proc. IEEE, MTT-S Topical Meeting on Optical Microwave Interaction, 195 (1994).
5. D. Gupta et al. IEEE Trans. Appl. Supercond., 3, 2895 (1993).
6. E. K. Track, R. E. Drake, G. K. G. Hobenwarterg. IEEE Trans. Appl. Supercond., 3, 2899 (1993).
7. D. Zhang, D. V. Plant, H. Fetterman. Appl. Phys. Lett., 58, 1560 (1991).

ՔՋԳԹ ԳՔԶ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒԹԱՅԻՆ ԻՄՊԵԴԱՆՍԻ ԲԱՂԱԴՐԻԶՆԵՐԻ
ԶԳԱՅՈՒՆՈՒԹՅՈՒՆԸ ՕՊՏԻԿԱԿԱՆ ԳՐԳՈՄԱՆ ՆԿԱՏՄԱՄԲ

Վ. Մ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ, Վ. Վ. ԲՈՒՆԻԱՏԻԱՆ

Աշխատանքում տեսականորեն հետազոտված է ՔՋԳԹ ԳՔԶ մակերևութային իմպեդանսի բաղադրիչների զգայունությունը ինտենսիվության մոդուլացված օպտիկական ազդանշանի նկատմամբ:

ON THE SENSITIVITY OF THE SURFACE MICROWAVE IMPEDANCE OF HTSC FILMS TO THE OPTICAL EXCITATION

V. M. AROUTIOUNIAN, V. V. BOUNIATIAN

The theoretical analysis of the sensitivity of the surface impedance of superconducting films to the optical illumination is carried out.