

БЕСКОНТАКТНЫЙ МЕТОД ИЗУЧЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК
СВЕРХПРОВОДЯЩИХ МАТЕРИАЛОВ

О. С. ЕРИЦЯН, М. А. ГАНАПЕТЯН

Ереванский государственный университет

(Поступила в редакцию 15 мая 1992 г.)

Рассматривается возможность экспериментального исследования частотной и температурной зависимости проводимости и других характеристик сверхпроводящих материалов, которые определяются взаимодействием электромагнитной волны с указанными материалами.

1. Введение. При взаимодействии электромагнитной волны с границами раздела сред имеет место усиление изменения азимута поляризации (изменение $\Delta\Phi_1$ азимута поляризации волны, провозимодействовавшей со средой, происходящее из-за изменения азимута поляризации $\Delta\Phi$ падающей волны, не равно $\Delta\Phi$), обусловленное неэквивалентностью азимутов поляризации падающей волны [1]. Имеет место также изменение эллиптичности поляризации при взаимодействии волны со средой. Измерения зависимости Φ_1 от Φ и эллиптичности поляризации* η от Φ на разных частотах падающей волны могут дать сведения о характеристиках образца и, в частности, об их зависимости от частоты и температуры при изменении последней.

2. Отражение плоской электромагнитной волны частоты ω от границы образца. Рассмотрим отражение плоскополяризованной электромагнитной волны частоты ω от границы $z=0$ исследуемой среды, занимающей область $z \geq 0$. Волна падает из вакуума, волновой вектор лежит в плоскости xz . Диэлектрическую и магнитную проницаемости среды и ее электропроводность обозначим через ϵ, μ, σ . Решая задачу отражения и преломления на границе, приходим к следующим соотношениям (азимуты поляризации отсчитываются от направления оси y —нормали к плоскости падения):

а) Зависимость между Φ_1 и Φ

$$\Phi_1 = \frac{1}{2} \arctg \left(\frac{2\rho_0 \operatorname{tg} \Phi}{1 - \rho_0^2 \operatorname{tg}^2 \Phi} \cos \alpha \right), \quad (1)$$

где ρ_0 и α —модуль и аргумент комплексного выражения:

$$x = \frac{k_{2z} - \bar{\epsilon} k_z}{k_{2z} + \bar{\epsilon} k_z} \cdot \frac{\mu k_z + k_{2z}}{\mu k_z - k_{2z}},$$

* Эллиптичность поляризации η есть отношение малой полуоси эллипса поляризации электрического поля волны к большой полуоси.

$$(\rho_0 = |x|, \alpha = \arg x, \text{т. е.}, x = \rho_0 e^{i\alpha}),$$

$$\bar{\varepsilon} = \varepsilon + i \frac{4\pi\sigma}{\omega}, \quad k_{2z} = \frac{\omega}{c} \sqrt{\varepsilon_{\mu} - \sin^2 \vartheta},$$

$$k_z = \frac{\omega}{c} \cos \vartheta, \text{ где } \vartheta \text{ — угол падения;}$$

б) Коэффициент усиления по азимуту

$$f \equiv \frac{d\Phi_1}{d\Phi} = \frac{\rho_0^2 \sec^2 \Phi (1 + \rho_0^2 \sec^2 \Phi)}{(1 - \rho_0^2 \operatorname{tg}^2 \Phi)^2 + (2\rho_0 \operatorname{tg} \Phi \cos \alpha)^2} \cos \alpha; \quad (2)$$

в) Отношение полуосей эллипса поляризации отраженной волны

$$r = \frac{\sqrt{(\rho_0 \cos \alpha \cos \Phi_1 - \sin \Phi_1)^2 + (\rho_0 \sin \alpha \cos \Phi_1)^2}}{\sqrt{(\rho_0 \cos \alpha \sin \Phi_1 - \cos \Phi_1)^2 + (\rho_0 \sin \alpha \sin \Phi_1)^2}}. \quad (3)$$

Эллиптичность поляризации равна r , если $r < 1$, и равна $\frac{1}{r}$, если $r > 1$.

Три соотношения (1), (2), (3) дают принципиальную возможность для определения трех параметров $\varepsilon(\omega, T)$, $\mu(\omega, T)$, $\sigma(\omega, T)$ на разных частотах на основании измерения трех величин Φ_1 , f , r при фиксированной температуре, а также для исследования температурной зависимости $\varepsilon(\omega, T)$, $\mu(\omega, T)$, $\sigma(\omega, T)$.

Современная волноводная техника дает возможность для таких измерений также на сверхвысоких частотах, где измерения затруднены из-за невозможности применения методов геометрической оптики.

3. Измерение коэффициента усиления. Рассмотрим вопрос о практическом осуществлении измерения коэффициента усиления. Заметим, во-первых, что путем изменения с заданной частотой Ω параметров падающей волны имеем возможность применять резонансное усиление для измерения параметров отраженного света. Так, изменение в малых пределах азимута поляризации падающей волны приводит к возможности модуляции интенсивности волны, прошедшей через анализатор, поставленный перед отраженным лучом. Если, например, направление пропускания поляризатора, поставленного перед падающей волной, менять периодически с частотой Ω и амплитудой $\Delta\Phi_m$ около фиксированного азимута Φ_0 по закону $\Phi = \Phi_0 + \Delta\Phi_m \cos \Omega t$, то интенсивность волны, прошедшей через анализатор, будет меняться периодически. А это дает возможность применять резонансное усиление, чем можно повысить чувствительность измерений.

Пусть направление пропускания анализатора составляет угол $\varphi = 45^\circ$ с большой полуосью эллипса поляризации отраженной волны. Тогда при изменении азимута поляризации падающей плоскополяризованной волны с амплитудой $\Delta\Phi_m$ около произвольного фиксированного значения Φ_0 амплитуда изменения интенсивности волны, прошедшей через анализатор, будет равна:

$$\Delta J_m = J_0 \frac{1 - \eta^2}{1 + \eta^2} |f| \cdot \Delta \Phi_m,$$

где J_0 — интенсивность отраженной волны.

По измерению амплитуды ΔJ_m изменения интенсивности определяются $|f|$:

$$|f| = \frac{1}{J_0} \frac{\Delta J_m}{\Delta \Phi_m} \cdot \frac{1 + \eta^2}{1 - \eta^2}.$$

Произведя такие измерения для разных значений Φ_0 , можно получить зависимость $|f|$ от Φ .

Измерение зависимости $|f|$ от Φ по описанному способу можно произвести также для других значений угла φ между направлением пропускания анализатора и большой полуосью эллипса поляризации отраженной волны. Однако в общем случае в выражение

$$\frac{\Delta J_m}{\Delta \Phi_m} = \left| \frac{1 - \eta^2}{1 + \eta^2} f \sin 2\varphi + \frac{2\eta \cos 2\varphi}{(1 + \eta)^2} \frac{d\eta}{d\Phi} \right| J_0$$

входит также производная от η по Φ , которая при $\varphi = 45^\circ$, как следует из приведенного выражения, не фигурирует в $\frac{\Delta J_m}{\Delta \Phi_m}$. Этим и определяется целесообразность измерений при $\varphi = 45^\circ$. С другой стороны, измерение ΔJ_m для разных φ дает новые сведения, а именно, сведения о $\frac{d\eta}{d\Phi}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ерицян О. С.. Изв. АН АрмССР, Физика, 19, 70 (1984).

ԳԵՐՀԱՂՈՐԴԻՉ ՆՅՈՒԹԵՐԻ ԲՆՈՒԹԱԳՐԵՐԻ ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՄԱՆ ԱՆԿՈՆՏԱԿՏ ԵՂԱՆԱԿ

Հ. Ս. ԵՐԻՑՅԱՆ, Մ. Ա. ԳԱՆԱՊԵՏՅԱՆ

Քննարկված են գերհաղորդիչ նյութերի հաղորդականության հաճախական և շերտաստիճանային կախվածության և այդ նյութերի հետ էլեկտրամագնիսական ալիքի փոխազդեցությունից որոշվող այլ բնութագրերի փորձարարական հետազոտման որոշ հարցերը:

A NON—CONTACT METHOD FOR STUDYING THE CHARACTERISTICS OF SUPERCONDUCTING MATERIALS

H. S. ERITSYAN, M. A. GANAPETYAN

The possibility of experimental investigation of frequency and temperature dependence of the conduction of superconducting materials and other characteristics, determined by interaction of electromagnetic wave with these materials, is considered.