

СОВЕЩАНИЯ И КОНФЕРЕНЦИИ

53 (048)

**НАУЧНАЯ СЕССИЯ ОТДЕЛЕНИЯ ОБЩЕЙ ФИЗИКИ
И АСТРОНОМИИ И ОТДЕЛЕНИЯ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ
АКАДЕМИИ НАУК СССР**

(29—30 января 1986 г.)

29 и 30 января 1986 г. в Институте физических проблем им. С. И. Вавилова АН СССР состоялась совместная научная сессия Отделения общей физики и астрономии и Отделения ядерной физики АН СССР. На сессии были заслушаны доклады:

29 января

1. М. И. Каганов, В. Б. Фикс. Трансформация электромагнитной энергии в звуковую электронами металла (теория).
2. А. Н. Васильев, Ю. П. Гайдукров. Бесконтактное возбуждение звука в металлах (эксперимент).
3. В. А. Комаров. Электромагнитно-акустическое преобразование — метод неразрушающего контроля.

30 января

4. А. А. Комар. Метод рентгенолитографии в микроэлектронике: проблемы и перспективы.
 5. А. П. Силин. Полупроводниковые сверхрешетки.
 6. А. И. Головашкин, А. Н. Лыков. Субмикронные сверхпроводящие структуры.
- Краткое содержание пяти докладов приводится ниже.

538.915(048)

М. И. Каганов, В. Б. Фикс. Трансформация электромагнитной энергии в звуковую электронами металла (теория). 1. Трансформация электромагнитной энергии в звуковую вызывается различными силами¹, действующими на решетку металла, на поверхность которого падает электромагнитная волна². Если металл помещен в достаточно большое постоянное поле H_0 , то основным механизмом трансформации служит пондеромоторная (индукционная, фарадеева) сила $F^u = (1/c) [jH]$, где j — плотность тока, наведенного электромагнитной волной в скин-слое металла. При $\omega_{co} < (\delta/\delta_0)^2 l^2 / (l^2 + \delta^2)$, где ω_{co} — циклотронная частота электрона в поле H_0 , δ — глубина скин-слоя, l — длина свободного пробега, а δ_0 — плазменная глубина проникновения, трансформация

осуществляется деформационной силой

$$\mathcal{F}_i^{\text{д}} = - \frac{\partial}{\partial x_k} \langle \Lambda_{ik} \chi \rangle,$$

$\Lambda_{ik} = \lambda_{ik} - \langle \lambda_{ik} \rangle / \langle 1 \rangle$ — перенормированный условием квазинейтральности тензор деформационного потенциала, $(\partial f_0 / \partial \epsilon) \chi$ — неравновесная добавка к фермиевской функции распределения электронов, а скобки означают усреднение по поверхности Ферми (ПФ). «Деформационная сила», «деформационный механизм трансформации» — не вполне точные термины, так как в этом механизме главную роль может играть перенос импульса электронами: приобретая импульс от электромагнитной волны в одном месте, электроны «отдают» его решетке в другом (на расстоянии порядка l), в результате чего на решетку действует силовой диполь. В приближении свободных электронов деформационная сила — одно из проявлений электронного ветра^{2*}. Нелокальный характер деформационной силы ясно виден из оценки этой силы по порядку величины

$$\mathcal{F}^{\text{д}} \sim \frac{n\omega\delta}{c} \frac{l^2}{l^2 + \delta^2} e\tilde{H}$$

(\tilde{H} — магнитное поле в волне на поверхности металла, n — плотность электронов). Суммарная сила, действующая на металл, в силу его нейтральности равна нулю. При диффузном отражении электронов поверхностью металла на поверхность металла действует δ -образная поверхностная сила, обязанная потере импульса электронами при столкновении с поверхностью:

$$\mathbf{F}^{\text{пов}} = - \int_0^{\infty} \mathbf{F}^{\text{д}}(z') dz' \cdot \delta(z),$$

z — нормаль к поверхности металла³.

2. Деформационная сила особенно велика в условиях аномального скин-эффекта. Анализ показывает, что даже при $\delta \ll l$ в трансформации электромагнитной энергии в звуковую принимают участие все электроны на ПФ, а не только электроны «пояска» $v_z = 0$. Напомним, что импеданс металла создается только электронами «пояска». Особую роль, как будет видно, играют электроны, улетающие от поверхности металла с максимальной скоростью.

3. Коэффициентом трансформации естественно назвать отношение потока звуковой энергии к потоку электромагнитной энергии, падающей на поверхность металла:

$$\gamma = \frac{4\pi s\omega^2 \rho |u_{\infty}|^2}{cE_{\text{пад}}^2}.$$

Задача теории — вычисление u_{∞} -значения амплитуды поля смещений в волновой зоне — «далеко» (на бесконечности) от поверхности металла.

Приведем выражения для коэффициента трансформации в одном из «благоприятных» случаев³ (зеркальное отражение и $l \gg l_0 = \delta_0 (v_F/s)^{1/2}$, $\tau\omega \approx (s/v_F) (l/l_0) \ll 1$):

$$\gamma_{\text{max}} \approx \frac{3}{2\pi} \frac{mZ}{M} \frac{v_F}{c};$$

Z — «валентность» ячейки кристалла, M — ее масса (расчет производился в модели свободных электронов).

Анализ температурной зависимости $\gamma = \gamma(T)$ показал, что она правильно (во всяком случае качественно) описывает эксперимент.

4. Переход к сверхчистым образцам делает актуальным рассмотрение высокочастотного случая $\omega\tau \gg 1$, когда длина затухания звука $D \sim v_F/\omega$ меньше l . Асимптотика звукового поля в этих условиях определяется квазиволнами (волнами затягивания), создаваемыми баллистическими элект-

* В модели свободных электронов перенос импульса — единственная причина существования «деформационной» силы.

ронами с $v_z = v_z^{\text{extr}}$. Неэкспоненциальное затухание этих волн ⁴ зависит от локальной геометрии ПФ.

5. Рассмотрение взаимодействия электронов с границами кристаллитов ⁵ показывает, что на границах должна быть сосредоточена внутренняя «поверхностная» сила $F_{\text{пов}} \sim j_{\text{пф}}/e$, которая может оказаться важной при оценке трансформационной способности поликристаллического металла.

6. Трансформацию электромагнитной энергии в звуковую нужно учитывать при расчете черенковского излучения звука заряженными частицами, движущимися через металл ⁶.

7. Нелинейное электромагнитное возбуждение ультразвука в металлах ⁷ в условиях нормального скин-эффекта — следствие индукционной силы ($F_2^{\text{н}} \sim \tilde{H}^2/\delta$), а в условиях аномального скин-эффекта — деформационной ($F_2^{\text{д}} \sim (l/\delta)^2 \tilde{H}^2/\delta$). Наблюдение нелинейного возбуждения вместе с линейным может позволить в одном эксперименте определить диагональные и недиагональные компоненты тензора деформационного потенциала λ_{ik} .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сплин В. П. //ЖЭТФ. 1960. Т. 38. С. 977.
Конторович В. М. //ЖЭТФ. 1963. Т. 45. С. 1638; 1970. Т. 59. С. 2116.
Скобов В. Г., Канер Э. А. //ЖЭТФ. 1964. Т. 46. С. 273.
Фикс В. Б. //ЖЭТФ. 1978. Т. 75. С. 137.
Андреев А. Ф., Пушкаров Д. И. //ЖЭТФ. 1985. Т. 89. С. 1883.
2. Фикс В. Б. //ФТТ. 1959. Т. 1. С. 16; ЖЭТФ. 1978. Т. 75. С. 137; см. также: Фикс В. Б. Ионная проводимость в металлах и полупроводниках. М.: Наука, 1969.
3. Каганов М. И., Фикс В. Б. //ФММ. 1965. Т. 19. С. 489; ЖЭТФ, 1972. Т. 62. С. 461.
Каганов М. И., Фикс В. Б., Шикина Н. И. //ФММ. 1969. Т. 26. С. 11.
Ивановский Г. И., Каганов М. И., Фикс В. Б. //ФТТ. 1973. Т. 15. С. 1441.
4. Ивановский Г. И., Каганов М. И. //ЖЭТФ. 1982. Т. 83. С. 2320.
5. Каганов М. И., Фикс В. Б. //ЖЭТФ. 1977. Т. 73. С. 753.
6. Каганова И. М., Каганов М. И. //ФТТ. 1973. Т. 15. С. 2119.
7. Васильев А. Н., Гулянский М. А., Каганов М. И. //ЖЭТФ. 1986. Т. 91. С. 302.
8. Васильев А. Н., Гайдуков Ю. П. //УФН. 1983 Т. 141. С. 431