

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. Гайдук. 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.

А. Н. Васильев, Ю. П. Гайдуков. Бесконтактное возбуждение звука в металлах (эксперимент). В исследованиях по электромагнитному возбуждению звука используются как традиционные акустические методы, так и подходы, развитые для изучения высокочастотных свойств твердых тел.

Наиболее распространенной в настоящее время является импульсная методика, основанная на принципах радиолокации. Мощный зондирующий радиоимпульс подается на катушку индуктивности, расположенную вблизи поверхности металла (амплитуда переменного магнитного поля H составляет 10^{-3} — 10^{-1} Тл). В режиме нормального скин-эффекта линейная генерация звука наблюдается лишь в присутствии постоянного магнитного поля H_0 (эта величина находится обычно в пределах 10^{-1} — 10 Тл). Трансформация волн в этом случае обусловлена индукционным взаимодействием переменного тока в скин-слое с полем H_0 . В зависимости от ориентации H_0 относительно H и поверхности металла под действием индукционного механизма возбуждается как продольный ($H_0 \parallel H \perp n$, n — нормаль к границе металла), так и поперечный ($H_0 \parallel n \perp H$) звук, поляризованный вдоль H .

В чистых металлах при низких температурах, помимо индукционного, проявляется также деформационный механизм¹ возбуждения звука. Его суть заключается в том, что в условиях аномального скин-эффекта прямое воздействие переменного электрического поля E на ионы решетки не компенсируется их взаимодействием с электронами. Большая часть электронов

уносит за пределы скин-слоя приобретенный добавочный импульс. Под действием деформационного механизма возбуждается поперечный звук, поляризованный вдоль E .

Бесконтактные методы используются не только для генерации объемного звука, но и для возбуждения поверхностных волн. Предназначенные для этого катушки выполняются, как правило, в виде меандра или решетки. Индуктивные датчики обычно располагаются на минимально возможном удалении от границы металла. Некоторые типы катушек и вызываемые ими поля упругих смещений представлены на рис. 1².

Регистрация возбуждаемого звука происходит за счет обратного преобразования упругой волны в электромагнитную и осуществляется либо

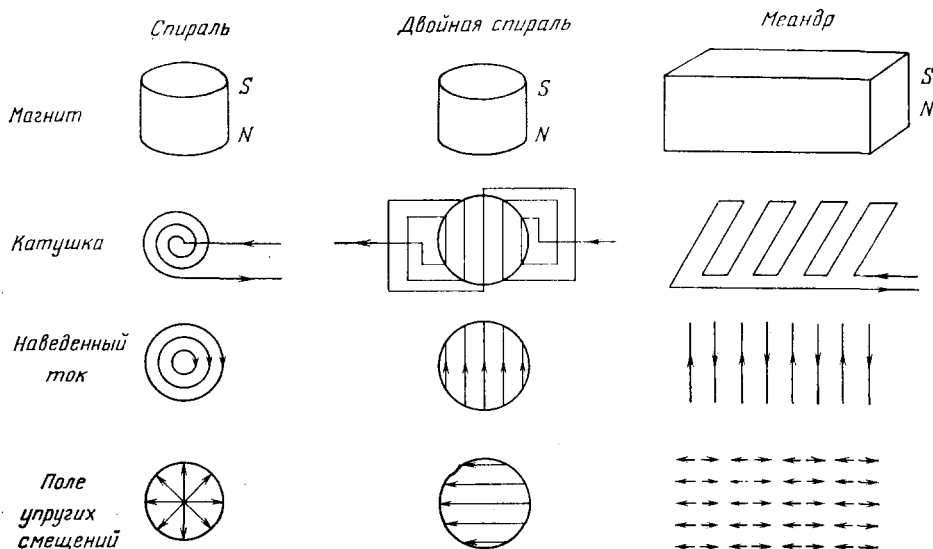


Рис. 1

второй катушкой в экспериментах «на прохождение», либо той же катушкой в эхо-импульсных экспериментах.

С повышением частоты эффективность указанных механизмов генерации уменьшается. Главным в СВЧ диапазоне становится «поверхностный» механизм³, обусловленный диффузным рассеянием электронов на границе металла. Смена доминирующих механизмов трансформации сопровождается и изменением экспериментальной техники. Индуктивные датчики эффективно работают вплоть до 10^8 — 10^9 Гц, на более высоких частотах применяются СВЧ резонаторы⁴. Исследуемый металл напыляется на один из торцов акустической линии задержки, который прижимается к отверстию на дне микроволнового резонатора. Вслед за возбуждающим импульсом наблюдается несколько эхо-сигналов со временами запаздывания, соответствующими прохождению поперечного звука до второго торца линии задержки и обратно.

Экспериментальное изучение высокочастотных свойств металлов (поверхностный импеданс, слабозатухающие волны и т. д.) часто проводится на тонких плоскопараллельных пластинах высокой частоты. Такая форма кристаллов идеально подходит как для изучения самого явления трансформации (пластина при этом рассматривается как акустический резонатор типа Фабри — Перо), так и для использования бесконтактного возбуждения в качестве метода исследования упругих свойств материалов. В полупроводниках и изоляторах возбуждать звук можно, напыляя на их поверхность тонкую металлическую пленку, которая и является преобразователем⁵.

Схема эксперимента, проводящегося в режиме непрерывных колебаний, представлена на рис. 2. Сигнал с выхода высокочастотного генератора 1 подается на заданную катушку, охватывающую образец 2. Сигнал приемной катушки подается на широкополосный усилитель 3 и затем на фазовый детектор 4. Использование фазового детектирования оправдывается высокой помехозащищенностью этой схемы. Самописцем 5 в таком опыте регистрируются резонансные особенности поверхностного импеданса, возникающие при установлении стоячих звуковых волн на толщине пластины. Частоты и амплитуды акустических резонансов несут информацию как об эффективности бесконтактного возбуждения звука, так и о скорости и затухании звука в металле.

Поскольку передаточная характеристика пластины с охватывающими ее катушками в поле H_0 обладает четко выраженными резонансными особенностями, это позволяет⁶ реализовать «акустический» автогенератор, работающий на резонансных частотах. В отсутствие H_0 коэффициент связи

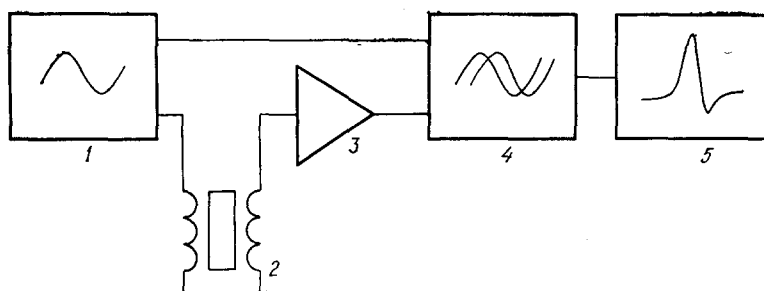


Рис. 2

между катушками подбирается ниже порога самовозбуждения генератора. При введении постоянного поля связь между катушками, обусловленная трансформацией электромагнитных и звуковых волн в металле, увеличивается, что приводит к генерации на частоте акустического резонанса в пластине. Автогенераторная схема особенно удобна для регистрации малых изменений скорости и затухания звука, например, при записи квантовых осцилляций этих величин^{7,8}.

К достоинствам электромагнитного возбуждения звука относится, прежде всего, именно отсутствие контакта с исследуемым веществом. Кроме того, этот метод позволяет возбуждать новые типы акустических колебаний⁹ и проводить в некоторых случаях измерения, недоступные другим методам¹⁰. Недостатком бесконтактного возбуждения является его низкая эффективность. Однако, современная аппаратура позволяет преодолеть это затруднение, о чем свидетельствует все более широкое применение этого эффекта в лабораторной практике и в практических приложениях¹¹.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кронорович В. М. // ЖЭТФ. 1963. Т. 45. С. 1638.
2. Fortunko C. M., Thompson P. B. // Ultrasonics Symposium Proc. IEEE. 1976. P. 12.
3. Каганов М. И., Фикс В. Б. // ФММ. 1965. Т. 19. С. 489.
4. Abeles B. // Phys. Rev. Lett. 1967. V. 19. P. 1181.
5. Васильев А. Н., Гайдуков Ю. П., Никифоров В. Н. // Письма ЖЭТФ. 1985. Т. 41. С. 466.
6. Васильев А. Н., Гайдуков Ю. П., Перов А. П. // ПТЭ. 1980. № 6. С. 176.
7. Васильев А. Н., Нурмагамбетов А. А. // ФНТ. 1983. Т. 9. С. 714.
8. Васильев А. Н., Гайдуков Ю. П. // ЖЭТФ. 1981. Т. 81. С. 2234.
9. Thompson R. B., Vasile C. F. // Appl. Phys. Lett. 1979. V. 34. P. 128.
10. Васильев А. Н., Гайдуков Ю. П., Попова Е. А., Федотов В. Ю. // Письма ЖЭТФ. 1985. Т. 42. С. 197.

11. K i n g R. B., F o r t u n k o C. M.//Ultrasonics Symposium Proc. IEEE. 1982. P. 885.
H u s s o n D., B e n n e t t S. D., K i n o G. S.//Ibidem. P. 889.
D a t t a S. K., S h a h A. H., F o r t u n k o C. M.//J. Appl. Phys. 1982. V. 53.
P. 2895.
F o r t u n k o C. M., K i n g R. B., T a n M.//Ibidem. P. 3450.