

ГИГАНТСКИЕ КВАНТОВЫЕ ОСЦИЛЛЯЦИИ ВТОРОЙ ГАРМОНИКИ ЗВУКА В ВИСМУТЕ

*А. П. Королюк, В. И. Хоткевич, М. А. Оболенский,
В. И. Белецкий*

Обнаружена генерация второй гармоники звука в висмуте, а также гигантские квантовые осцилляции второй гармоники звука при условии $\epsilon_F \gg \hbar\Omega \gg kT$ (ϵ_F – энергия Ферми, Ω – циклотронная частота, T – абсолютная температура). Определена зависимость мощности второй гармоники от мощности звука основной частоты.

Исследованию нелинейных явлений в пьезополупроводниках, возникающих при распространении акустических волн конечной интенсивности посвящено значительное число публикаций (например [1 – 3]). Механизм этих явлений связывают с так называемой концентрационной

нелинейностью-захватом носителей тока глубокими потенциальными ямами, связанными с движением звуковой волны и обеднением ими остальной части объема. В результате, как скорость звука, так и его поглощение, зависят от интенсивности акустических волн.

Подобный механизм, по-видимому, не может быть реализован в чистых металлах и полуметаллах если $K\ell \gg 1$ (K – волновой вектор звука, ℓ – длина свободного пробега электронов), так как энергия Ферми электронов намного больше глубины потенциальных ям, создаваемых звуковой волной. При прохождении через металл волны для которой $K\ell \ll 1$ взаимодействие между акустическими волнами и электронами, которое в металлах имеет деформационную природу, сильно уменьшается и условия для существования нелинейности не реализуются. В работах [4 – 6] обсуждалась возможность существования механизма нелинейности, связанного с искажением функции распределения электронов звуковой волной. Подобный механизм, как показано в [6], должен привести к ряду явлений в металлах и полуметаллах, имеющих ярко выраженный нелинейный характер: возникновение второй гармоники акустических волн, зависимости ее интенсивности от магнитного поля, возникновение комбинационных частот, а также к гигантским квантовым осцилляциям второй гармоники при выполнении условия

$$\epsilon_F \gg \hbar\Omega \gg kT$$

ϵ_F – энергия Ферми, Ω – циклотронная частота, T – абсолютная температура.

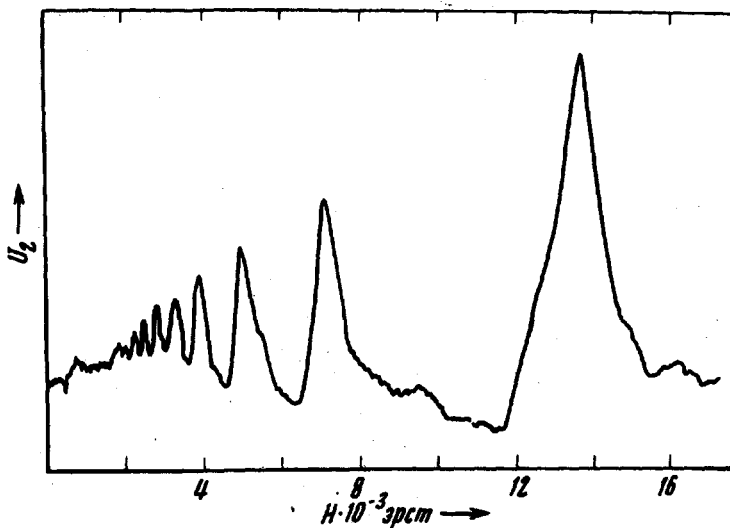


Рис. 1

Целью наших экспериментов являлось обнаружение этих явлений в чистом висмуте. Образцы были вырезаны на электроискровом станке из массивного монокристалла и имели форму дисков диаметром $6 + 8$ мм и толщиной $1 + 2$ мм. Плоскость среза была перпендикулярна X или Y осям кристалла (X – бинарная ось, Y – бисекторная ось). Отношение сопротивлений, характеризующее чистоту образца, имело значение $R_{300^\circ\text{K}} / R_{4,2^\circ\text{K}} = 300$.

Возбуждение и регистрация звука проводились импульсным методом с использованием преобразователей звука продольного типа из монокристалла LiNbO_3 . С целью получения максимальной мощности звука в образце, при заданной мощности генератора, применялось согласование импедансов коаксиальных линий и преобразователей при помощи сосредоточенной емкости. Генерация первой гармоники звука осуществлялась на частоте 235 МГц, прием на частоте 470 МГц.

На рис. 1 приведена зависимость амплитуды сигнала второй гармоники (в произвольных единицах) в выходном сечении образца в зависимости от напряженности магнитного поля для ориентации $\text{K} \parallel \text{H} \parallel \text{Y}$. Периоды гигантских квантовых осцилляций поглощения второй гармоники хорошо совпадают с периодами осцилляций первой гармоники звука в висмуте. На рис. 2 представлена, в относительных единицах, зависимость мощности второй гармоники P_2 от мощности звука основной частоты P_1 , измеренная в поле 7 кэ, в котором находится пик поглощения гигантских осцилляций. Из рисунка видно, что $P_2(\delta\delta) = 2P_1(\delta\delta)$,

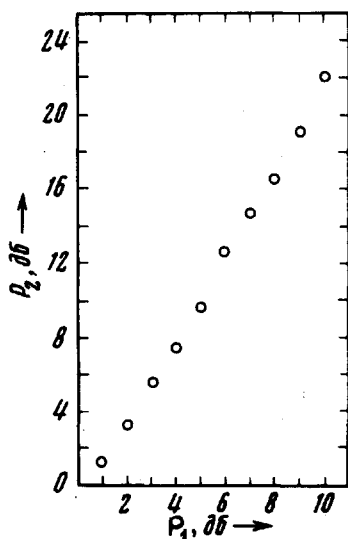


Рис. 2

а следовательно $u_2 = \chi u_1^2$ (где u_2 — амплитуда волны второй гармоники, u_1 — амплитуда волны первой гармоники, χ — коэффициент преобразования первой гармоники во вторую). Подобная зависимость была получена теоретически в работах [4, 6]. Исходя из первых полученных результатов, по-видимому, нельзя однозначно указать механизм возникновения нелинейности в полуметаллах. Ясно, однако, что обнаруженная нелинейность имеет электронный характер, поскольку проявляется в эффекте связанном с электронами проводимости.

В настоящей работе не ставилось целью измерение величины параметра χ , количественные измерения будут представлены в следующем сообщении.

В заключение считаем своим приятным долгом выразить благодарность Э.А. Канеру за полезные обсуждения настоящей работы.

Институт радиофизики и
электроники

Академии наук Украинской ССР

Поступила в редакцию
21 мая 1973 г.

Литература

- [1] С.Н.Иванов, И.М.Котелянский, Г.Д.Мансфельд, Е.Н.Хазанов. Письма в ЖЭТФ, 13, 283, 1971.
 - [2] В.Комарь, Б.Тиман. ФТТ, 12, 304, 1970.
 - [3] R. Mauro, W. C. Wang. Phys. Rev. Lett., 19, 693, 1967.
 - [4] Ю.М.Гальперин, В.Д.Каган, В.И.Козуб. ЖЭТФ, 62, 1521, 1972.
 - [5] Ю.М.Гальперин, В.И.Козуб. ЖЭТФ, 63, 1083, 1972.
 - [6] В.Я.Демиховский, А.П.Копасов. ФТТ, 13, 2468, 1971.
-