

ПОВЕРХНОСТНЫЕ ВОЛНЫ В InSb

В. И. Байбахов, В. Н. Дацко

При исследовании прохождения электромагнитных волн через монокристаллические образцы InSb *n*-типа при $T = 300^\circ\text{K}$ в постоянном магнитном поле нами была обнаружена медленная поверхностная электромагнитная волна с круговой поляризацией и с близким к линейному закону дисперсии. Волна распространялась параллельно магнитному полю и наблюдалась одновременно с хорошо известными спиральными волнами – геликонами на частотах $\omega \ll \nu_e \ll \omega_{ce}$ при $\omega \ll \omega_{ci} < \nu_i$; ν_e и ν_i – характерные частоты столкновений электронов и дырок, ω_{ce} и ω_{ci} – их циклотронные частоты соответственно. Схема опыта показана на рис. 1.

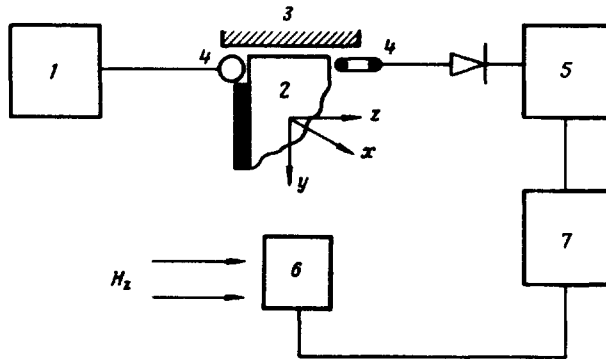


Рис. 1. Схема опыта: 1 – ВЧ генератор, 2 – образец, 3 – экраны, 4 – катушки связи, 5 – усилитель, 6 – датчик Холла, 7 – двухкоординатный самописец

Пластинки *n*-InSb помещались между двумя катушками связи, создававшими и принимавшими ВЧ магнитное поле, направленное по их оси. ВЧ сигнал, проходивший через пластинки, с частотами 15 – 1000 МГц записывался в зависимости от величины постоянного магнитного поля $H_z < 30 \text{ кэ}$, нормального их плоскостям. При расположении катушек связи в центре образцов наблюдался интенсивный размерный геликоновый резонанс (1 рис. 2), частота которого удовлетворяла соотношению $\omega = k_z^2 H_z c / 4\pi n_e \ell$, где $k_z = \pi/d$ – продольное волновое число, d – толщина пластинки, c – скорость света, e – заряд электрона, $n_e = 1,35 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ – концентрация электронов в наших образцах. В случае, когда катушки связи находились вблизи краев пластинок, одновременно с геликоновым резонансом в несколько меньших полях возникал резонанс поверхностной волны (2 рис. 2), причем в зависимости от настройки системы мы могли наблюдать эти резонансы либо вместе

либо порознь, выделяв любой из них. Если направление магнитного поля

составляло некоторый угол с нормалью к плоскости пластинки, то наблюдался сдвиг резонанса поверхностной волны в сторону больших магнитных полей, пропорциональный косинусу этого угла аналогично тому, как это имеет место у геликонов. В поперечном магнитном поле ни один из резонансов не наблюдался.

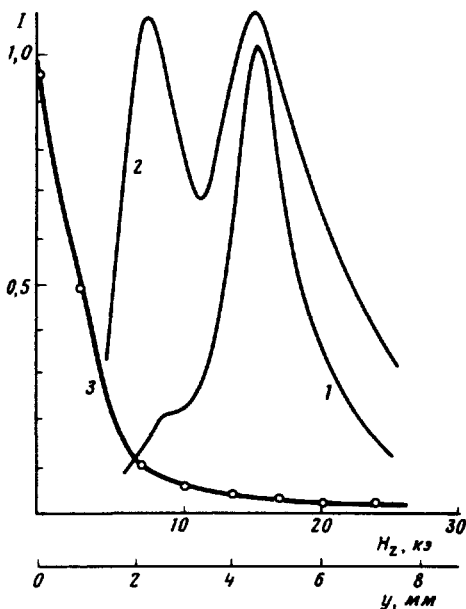


Рис. 2. Зависимость интенсивности ВЧ сигнала, проходящего через образец n -InSb, от магнитного поля при постановке катушек связи в центре образца (1) и на его краю (2), а также изменение интенсивности поверхностной волны с глубиной (3). Размеры образца $15 \times 15 \times 0,9$ мм³, частота 700 МГц

Вывод о поверхностном характере обнаруженной волны был сделан на основании результатов измерений распределения ее интенсивности по глубине (3 рис. 2), выполненных с помощью соответствующего сдвига приемной катушки связи. Интенсивность волны максимальна у поверхности боковой грани пластинки и уменьшается с глубиной (ось y) по закону $I = I_0 \exp(-2\tau y)$, где $\tau = 6 \text{ см}^{-1}$. Это означает, что волна локализована в слое, толщина которого много больше классической толщины скин-слоя при $H_z = 0$. Изменяя ориентацию катушек связи, мы нашли, что волна имеет круговую поляризацию; кроме того у нее была обнаружена продольная компонента ВЧ магнитного поля.

Вследствие сильного отражения поверхностной волны от ребер пластинки, грань последней представляет собой, по-существу, своеобразный резонатор Фабри – Перо. Варьируя толщину такого резонатора в процессе опыта путем подшлифовки пластинки, мы измерили зависимости частоты резонанса поверхностной волны от величины магнитного поля для различных толщин, что дало возможность построить затем дисперсионные кривые волны при различных значениях H_z . Они показаны на рис. 3.

Семейство дисперсионных характеристик поверхностной волны обладает следующими особенностями, отсутствующими у волн геликонового типа. Во-первых, оно представляет собой пучок линий, близких к прямым и сходящихся при $\omega = 0$ в точке $k_z \approx \tau$, что, по-видимому, связано с поверхностным характером волны. В этой точке ее фазовая скорость $v = \omega / k_z$ стремится к нулю, так что существование одно-

родных поверхностных волн при $k_z < r$, видимо, невозможно. Во-вторых, при $k_z > r$ независимо от величины k_z v стремится к нулю в некотором конечном магнитном поле; при этом затухание волны растет и ее резонанс перестает наблюдаться. В больших полях, судя по добротности резонанса, затухание поверхностной волны не превышает затухания объемных геликонов.

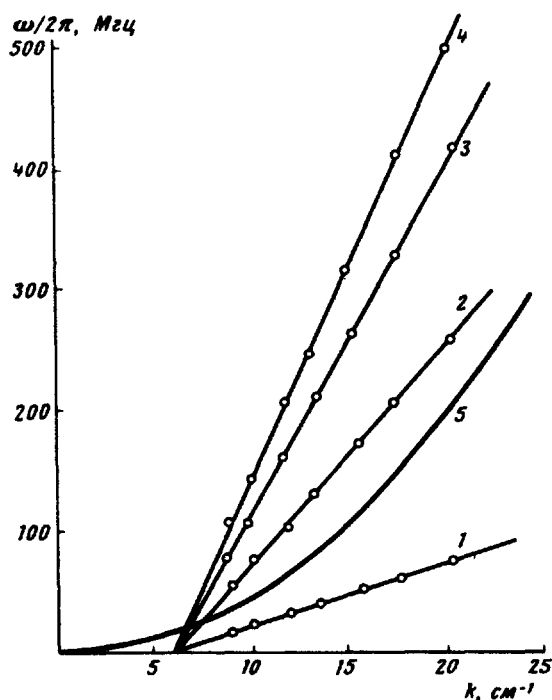


Рис. 3. Дисперсионные характеристики поверхностной волны при разных величинах магнитного поля (1. — $H_z = 3$ кэ, 2. — $H_z = 5$ кэ, 3. — $H_z = 7$ кэ, 4. — $H_z = 9$ кэ) и дисперсионная характеристика объемного геликона (5) при $H_z = 9$ кэ для этого же образца

В обследованном нами диапазоне длин волн фазовая скорость поверхностной волны составляла $10^7 - 10^8$ см/сек и примерно вдвое превышала фазовую скорость геликонов. Однако, если линейность дисперсионных характеристик сохраняется за пределами этого диапазона, то в двух точках они должны пересекаться с квадратичными дисперсионными характеристиками геликонов, так что в этих точках можно ожидать появления различных особенностей.

Физически ясно, что существование и свойства поверхностных волн должны с необходимостью следовать из совместного решения уравнений Максвелла и уравнений движения для носителей заряда в полупроводнике при соответствующих граничных условиях и, видимо, с учетом наличия носителей обоих знаков, поскольку при $T = 300^\circ\text{K}$ проводимость наших образцов InSb была близка к собственной. Однако,

насколько нам известно, несмотря на то, что вопрос о поверхностных волнах подымался в литературе неоднократно [1 - 3], волны в магнитоактивной плазме со свойствами, описанными выше, ранее не обсуждались. Поэтому их дальнейшее изучение представляет несомненный интерес.

Научно-исследовательский
институт физико-технических
и радиотехнических измерений

Поступила в редакцию
17 января 1972 г.

Литература

- [1] А.Б. Михайловский, Э.А. Пашицкий. ЖЭТФ, 48, 1794, 1965.
 - [2] С.И. Ханкина, В.И. Яковенко. ФТТ, 9, 586, 1967.
 - [3] Н.Я. Коцаренко, А.М. Федорченко. ЖТФ, 39, 1132, 1969.
-