

Письма в ЖЭТФ, том 14, стр. 164. — 169

5 августа 1971 г.

НЕУСТОЙЧИВОСТЬ ТОКА И СВЧ ИЗЛУЧЕНИЕ n -CdHgTe

В. Н. Кобышев, А. С. Талер

Хотя результаты исследований когерентного СВЧ излучения InSb [1, 2] не позволяют пока установить конкретный механизм возбуждения этого излучения, они показывают, что в основе этого механизма лежит, по-видимому, нестабильность электронно-дырочной плазмы, не связанная прямо с особенностями энергетического спектра носителей тока и их взаимодействием с колебаниями решетки кристалла. Поэтому естественно было предположить, что аналогичные явления могут наблюдаться и в других полупроводниковых материалах, в которых под

действием умеренных электрических полей может быть создана неравновесная плазма с высокой подвижностью и не слишком большой концентрацией носителей тока. К таким материалам относится, в частности, твердый раствор $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$, представляющий собой при $x \leq 0,15$ полуметалл, а при $x > 0,15$ полупроводник, зонная структура которого сходна с зонной структурой InSb , а подвижность электронов при $T = 77^\circ\text{K}$ достигает $10^4 + 5 \cdot 10^5 \text{ см}^2/\text{сек}$.

Исследование монокристаллов¹⁾ $n\text{-Cd}_{0,23}\text{Hg}_{0,77}\text{Te}$ размером около $2,5 \cdot 2 \cdot 0,1 \text{ мм}^3$ с концентрацией электронов $10^{15} - 10^{16} \text{ см}^{-3}$ и подвижностью $\sim 3 \cdot 10^4 \text{ см}^2/\text{сек}$, проведенное по описанной в [2] методике, подтвердило это предположение. Были обнаружены высокочастотная нестабильность тока и СВЧ излучение в диапазоне частот $1,5 - 5 \text{ ГГц}$, характеризующиеся следующими особенностями.

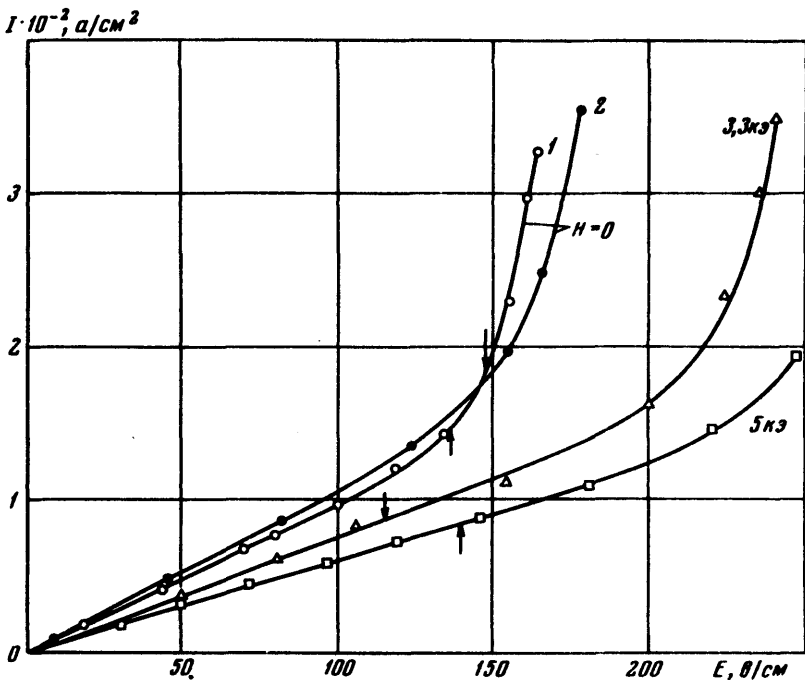


Рис. 1. Вольт-амперные характеристики кристалла $n\text{-Cd}_{0,23}\text{Hg}_{0,77}\text{Te}$ при $T = 77^\circ\text{K}$. Стрелкой показан порог СВЧ излучения. Кривые 1, 2 соответствуют противоположным полярностям импульсов питания

Вольт-амперная характеристика (ВАХ) образцов, линейная до полей $E < 100 \text{ в/см}$, при дальнейшем увеличении E становится суперлинейной с крутизной, резко возрастающей при $E > 150 \text{ в/см}$, что, по-видимому, соответствует порогу ударной ионизации. Поперечное магнитное поле H_{\perp} заметно увеличивает сопротивление образца и сдвигает порог ударной ионизации в сторону больших E (рис. 1).

На суперлинейном участке ВАХ наблюдаются регулярные осцилляции тока с частотой $1 + 20 \text{ МГц}$ (рис. 2). Наложение слабого магнит

¹⁾ Изготовленных в Львовском Государственном университете.

ного поля H стимулирует возбуждение этих осцилляций, причем их частота плавно возрастает по мере увеличения H . Так например, для одного из образцов при $E = 160$ в/см и $J \sim 3,5 \cdot 10^2$ а/см² изменение поперечного магнитного поля от 1,1 кэ до 1,8 кэ сопровождалось возрастанием частоты осцилляций тока от 3 до 8 МГц. Характерна высокая стабильность и воспроизводимость фазы осцилляций тока от импульса к импульсу в широком интервале режимов. Продольное магнитное поле $H_{||}$ практически не влияет на возбуждение осцилляций тока.



Рис. 2. Осцилляции тока (верхняя кривая) и огибающая импульса СВЧ излучения образца $n - \text{CdHgTe}$ при $H_{||} = 1$ кэ. Горизонтальная шкала 0,2 мксек/дел. Вертикальная шкала (верхняя кривая) 0,2 а/дел.

СВЧ излучение возникает при $E > E_{п} \sim 100 + 120$ в/см, $J > J_{п} \sim (1 + 2) \cdot 10^2$ а/см² как в магнитных полях напряженностью до 6 кэ произвольной ориентации, так и без магнитного поля¹⁾.

Для одного из образцов с меньшим удельным сопротивлением СВЧ излучение при $H = 0$ наблюдалось лишь в узком интервале токов и имело существенно меньшую интенсивность, чем при $H > 0$. Для другого образца магнитное поле до 1 кэ слабо влияло как на пороговые значения $E_{п}$ и $J_{п}$, так и на интенсивность излучения, хотя в полях $E \perp H \sim 3,5$ кэ и некоторых ориентациях кристалла на кривых $E_{п}(H)$, $J_{п}(H)$ отмечался небольшой излом, связанный, по-видимому, с изменением вида колебаний. Аналогично, изменение ориентации кристалла в поперечном магнитном поле практически не сказывается на пороговых значениях $E_{п}$ и $H_{п}$ при $H_{||} \lesssim 1$ кэ, тогда как при $H_{||} \gtrsim 3$ кэ эти значения изменяются в 1,3 + 1,5 раза.

В области полей, не намного превышающих пороговые, СВЧ излучение близко к когерентному и имеет характерную "многомодовую" структуру.

При небольших изменениях значений E , H и их взаимной ориентации огибающая СВЧ импульса может принимать самые причудливые конфигурации, каждая из которых не только стабильно сохраняется от импульса к импульсу, но и надежно воспроизводится при многократном повторении эксперимента. Наиболее разкие выбросы на огибающей СВЧ импульса часто сопровождаются появлением заметных ступенек и выступов на полочке питающего импульса. Создается впечатление, что различным набором значений E и H соответствуют различные виды СВЧ колебаний в объеме кристалла.

¹⁾ Этим СВЧ излучение CdHgTe отличается от излучения InSb , которое наблюдается, как правило, при $H \neq 0$.

Частота когерентного излучения является функцией тока, величины и ориентации магнитного поля, ориентации образца, интервала Δt от начала питающего импульса, и т. п. Изменение частоты с током для одного из образцов в поперечном магнитном поле $H_{\perp} \approx 5$ кэ иллюстрируется рис. 3. В зависимости от вида колебаний может иметь место как рост, так и уменьшение частоты с током. Увеличение интервала Δt , как правило, сопровождается уменьшением частоты излучения. Наблюдается одновременная генерация колебаний с различными частотами (кривые 4, 5, рис. 3).

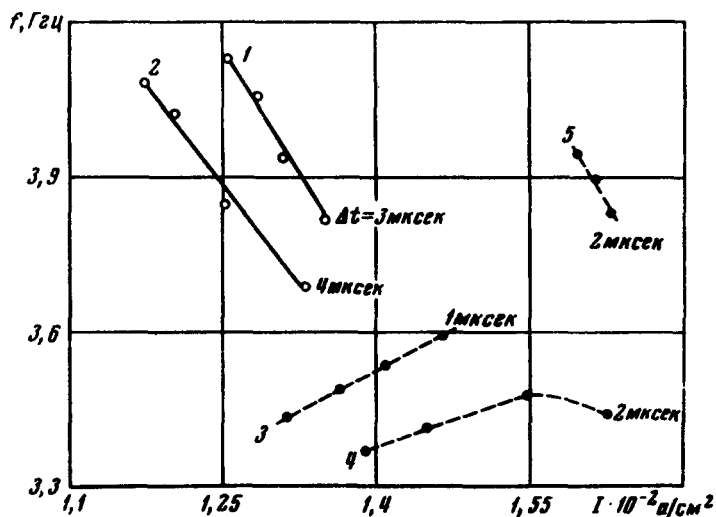


Рис. 3. Зависимость частоты когерентного излучения от тока и длительности импульса при $H_{\perp} = 5$ кэ и различных значениях угла α между широкой гранью образца и направлением магнитного поля: 1, 2 - $\alpha = 7^\circ$; 3, 4, 5 - $\alpha = 21^\circ$

Характеристики СВЧ излучения, наблюдаемого в CdHgTe , во многом сходны с соответствующими характеристиками, полученными для $\gamma\text{-InSb}$ [2]. Близки пороговые значения электрического поля; в обоих случаях наблюдается возбуждение когерентных колебаний, частоты которых зависят от плотности тока, напряженности магнитного поля, ориентации образца, длительности импульса, аналогично происходит трансформация когерентных колебаний в шумовые с ростом тока и т. д. Это делает правдоподобным предположение, что в обоих случаях действует один и тот же механизм СВЧ неустойчивости, связанный с электронно-дырочным взаимодействием. Различная степень влияния магнитного поля на характеристики излучения в обоих материалах может объясняться меньшей подвижностью электронов в CdHgTe и указывать на вторичную роль магнитного поля в механизме неустойчивости. Тот факт, что возбуждение когерентного излучения в CdHgTe сопровождается заметным изменением сопротивления образца (проявляющемся в искажении формы импульсов тока и напряжения), говорит о высокой интен-

сивности СВЧ колебаний электронно-дырочной плазмы внутри кристалла, а малая мощность наблюдаемого излучения, свидетельствующая о низком коэффициенте преобразования этих колебаний в электромагнитные, объясняется, по-видимому, потенциальным характером (малой длиной волны $k \gg \omega/c$) плазменных колебаний.

Дальнейшие исследования СВЧ излучения кристаллов CdHgTe с различным соотношением компонентов позволяет, вероятно, сделать более определенные заключения о природе описываемых явлений, включая наименее ясный вопрос о механизме, обеспечивающем когерентность СВЧ излучения.

Поступила в редакцию
21 июня 1971 г.

Литература

- [1] В.В.Робинсон, G.A.Swartz J. Appl. Phys. 40, 4598, 1969.
 - [2] В.М.Кобызев, А.С.Тагер. Письма в ЖЭТФ, 13, 607, 1971.
-