

УСИЛЕНИЕ ГЕЛИКОНОВ В InSb -ЭЛЕКТРОННЫМ ПУЧКОМ

Г.С.Абилов, В.И.Байбаков

Известно, что в замагниченной электронной плазме полупроводников и металлов могут распространяться различные магнетоплазменные волны, в частности, медленные спиральные волны – геликоны. Если ранее интересовались главным образом природой этих волн, то сейчас все большее внимание уделяется вопросам их усиления и создания на их основе усилителей и генераторов СВЧ.

В работах Бука и Нозьера [1] и одного из авторов [2] отмечалось, что геликоны могут быть усилены дрейфом носителей заряда. Один из способов усиления, основанный на поверхностном взаимодействии геликонов, распространяющихся в двух соприкасающихся полупроводниковых слоях, в одном из которых создан дрейф носителей, был предложен Баррафом и Бухсбаумом [3], однако по ряду причин его пока не удалось реализовать.

Геликоны, распространяющиеся в ограниченном полупроводнике, могут быть также усилены посредством их взаимодействия с электронным пучком, проходящим вблизи поверхности полупроводника. Такой механизм усиления геликонов рассматривался, в частности, в работе [4], авторы которой пришли к весьма пессимистичному заключению, что электронный пучок не может взаимодействовать с геликонами в полупроводнике n -типа. Несмотря на это, в работе [5] взаимодействие геликонов в InSb n -типа с электронным пучком наблюдалось экспериментально. Ниже описан опыт, в котором мы наблюдали не только взаимодействие электронного пучка с геликонами в InSb n -типа, но и получили значительное усиление геликонов на частоте 10 ГГц .

Схема опыта показана на рис. 1. Образец InSb имел форму цилиндра диаметром 10 мм и длиной 15 мм и был изготовлен из монокристалла InSb n -типа с подвижностью электронов $5 \cdot 10^5 \text{ см}^2/\text{в.сек}$ и с их концентрацией $5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$ при $T = 78^\circ \text{ К}$. По оси образца было просверлено сквозное отверстие диаметром $3,2 \text{ мм}$, через которое проходил электронный пучок, сфокусированный аксиальным магнитным полем. Возбуждение геликонов в образце и их прием осуществлялись с помощью

двух петель связи, установленных вблизи торцов образца. Температура образца могла изменяться в пределах $80-300^\circ\text{K}$. Специальное электронное устройство обеспечивало плавное изменение ускоряющего напряжения пучка.

Для увеличения чувствительности установки электронный пучок модулировался меандром с частотой 1 кГц , и синхронным детектированием выделялась только промодулированная благодаря взаимодействию с пучком часть сигнала. Немодулированная составляющая СВЧ мощности могла быть скомпенсирована с помощью мостовой СВЧ схемы, включенной на вход приемника, что значительно улучшало отношение сигнала к шуму.

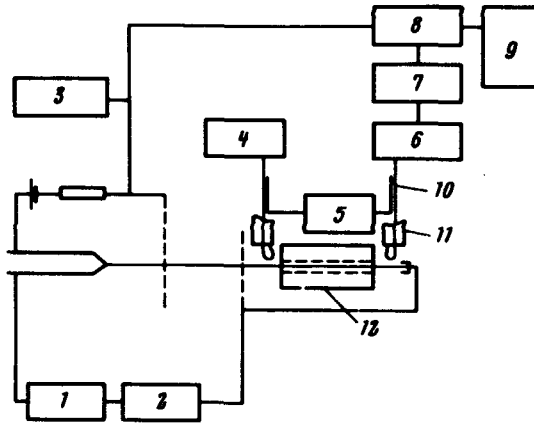


Рис.1. Схема эксперимента: 1 – блок питания, 2 – блок развертки ускоряющего напряжения пучка, 3 – генератор 1 кГц , 4 – генератор 10 ГГц , 5 – аттенуатор и фазовращатель, 6 – супергетеродинный приемник СВЧ, 7 – селективный усилитель 1 кГц , 8 – синхронный детектор, 9 – самописец, 10 – направленный ответвитель, 11 – петли связи

Взаимодействие геликонов и электронного пучка наблюдалось при температуре образца $90-130^\circ\text{K}$ и в магнитном поле $5-12\text{ кэ}$; оно отсутствовало при комнатной температуре, что было, вероятно, связано с ростом затухания геликонов в образце из-за уменьшения $\omega_c\tau$. Типичная зависимость СВЧ мощности, прошедшей через систему, от ускоряющего напряжения пучка показана на рис. 2. Наличие нескольких максимумов взаимодействия вызвано, по-видимому, тем, что электронный пучок взаимодействовал с различными геликоновыми модами образца, имевшими отличавшиеся фазовые скорости [6]. Ширина области сильного взаимодействия, в которой имело место как поглощение, так и значительное усиление сигнала, не превышала 10 э . Наибольшее полученное нами усиление (без учета потерь из-за рассогласования образца с СВЧ трактом) составило 15 дБ на частоте 10 ГГц при $T=120^\circ\text{K}$, $H=11\text{ кэ}$, $V=1,2\text{ кэ}$.

Оценки показали, что в данных условиях скорость пучка примерно соответствовала фазовой скорости геликонов, так что для геликонов и медленной волны пространственного заряда в пучке выполнялось условие синхронизма. Это означает, что электронный пучок взаимодействовал с продольной компонентой электрического поля медленной электромагнитной волны, созданной геликонами во внутренней полости образца.

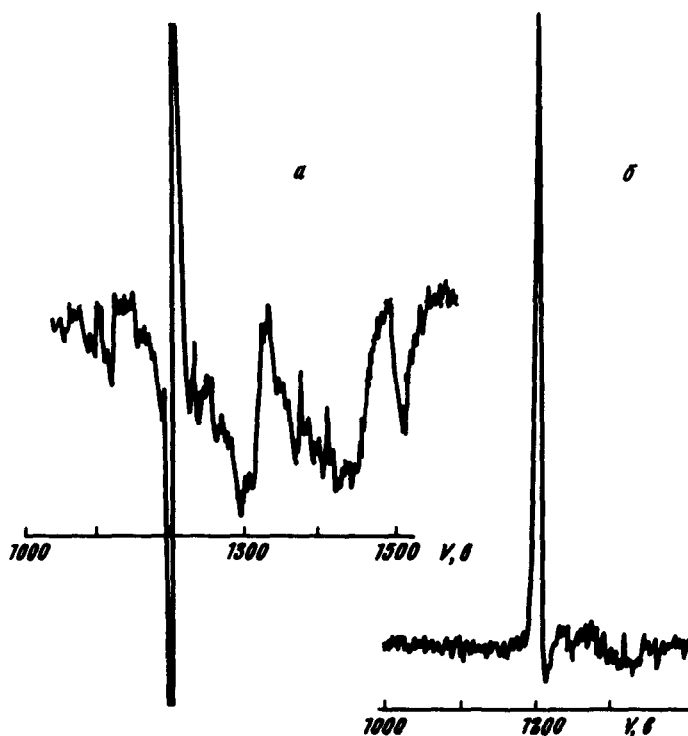


Рис.2. Изменение СВЧ-мощности, проходящей через систему плазма-пучок в зависимости от ускоряющего напряжения пучка: *a* — запись в режиме компенсации немодулированной составляющей СВЧ-мощности, *б* — запись проходящей СВЧ мощности без компенсации. Усиление приемника уменьшено в несколько раз

Такое взаимодействие аналогично взаимодействию электронного пучка и поля замедляющей системы в обычной лампе бегущей волны и, как хорошо известно, приводит к возникновению конвективной неустойчивости. По-видимому, именно это и наблюдалось на опыте.

В заключение благодарим Д.Н.Астрова за полезные советы и обсуждение результатов работы.

Поступило в редакцию
9 января 1970 г.

Литература

- [1] *J. Bok, P.Nozieres. J.Phys.Chem.Solids, 24, 709, 1963.*
 - [2] *G.S.Abilov, V.G.Veselago, M.V.Glushkov, A.M.Prokhorov, A.A.Rukhadse. Proc. of a Sympos. held at Delft, the Netherlands sept., 1965.*
 - [3] *G. A. Barracl, S.Y. Buehlsbaum. Appl.Phys.Lett., 6, 219, 1965.*
 - [4] *В.Г.Шантала, В.И.Шевченко. Укр. Физ. Журн., 13, 398, 1968.*
 - [5] *J.R. Rayless, W.M.Hooke, R.N.Sudan. Phys. Rev.Lett., 22, 640, 1969.*
-