

А. Н. КОМОВ, В. В. ПАХОМОВ

ИЗМЕРИТЕЛИ СВЧ МОЩНОСТИ НА ОСНОВЕ ДАТЧИКОВ Э. Д. С. ХОЛЛА

Разработка панорамных измерителей СВЧ мощности является одной из актуальных задач в измерительной технике сверхвысокочастотного диапазона. Среди большого числа различных методов измерения мощности миллиметрового диапазона длин волн можно выделить всего лишь один-два метода, которые позволяли бы измерить истинный поток мощности.

К этому числу относится метод, основанный на эффекте Холла в полупроводниках. Измерители данного типа позволяют определить поток мощности независимо от КСВ линии, являются практически безынерционными, широкополосными, конструктивно простыми и не потребляющими энергию извне.

Принцип действия таких измерителей для волноводной конструкции показан на рис. 1. Электрическая составляющая электромагнитной волны типа H_{10} создает в полупроводниковой пластине направленное движение носителей заряда, а под действием нормальной составляющей магнитного поля H создается сила Лоренца, которая отклоняет их к боковой грани пластины. Возникающая разность потенциалов (э. д. с. Холла) пропорциональна мощности, плотностной нагрузкой. Величина э. д. с. Холла во многом зависит и от свойств самого полупроводникового материала. В общем виде э. д. с. Холла определяется следующим выражением:

$$E_{x\text{ср}} = \mu U \frac{P_{\text{ср}}}{1 + (\omega\tau)^2}, \quad (3)$$

- где μ — подвижность носителей заряда;
 τ — время релаксации носителей заряда;
 ω — циклическая частота поля.

На величину выходного сигнала влияет также согласование по проводниковому датчику с волноводным трактом. В настоящей работе проводились исследования измерителей миллиметрового диапазона на основе полупроводниковых датчиков э. д. с. Холла InSb n- и p-типа, InAs n-типа в широком температурном интервале.

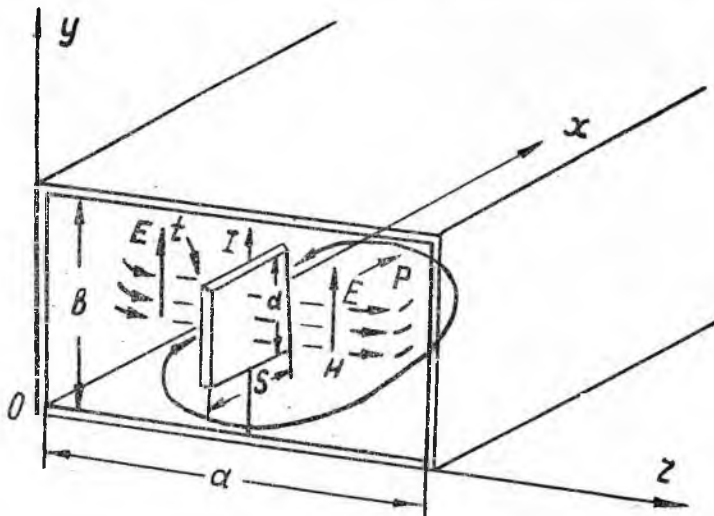


Рис. 1. Положение датчика э. д. с. Холла в волноводе.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА И ИССЛЕДУЕМЫЕ ОБРАЗЦЫ

В качестве измерительной головки выбрано устройство для трехсантиметрового диапазона, описанное в литературе [2], которое было детально разработано на миллиметровый диапазон. Принцип устройства головки показан на рис. 2. Датчик с четырьмя зондами устанавливается в волноводный отрезок с тремя коаксиальными линиями, связанными с датчиком и ограниченными короткозамкнутыми поршнями P_1 , P_2 , P_3 . Четвертый зонд непосредственно крепится к нижней стенке волновода.

Поршень резонатора P_1 служит для согласования фазы между током через датчик и магнитным полем волны. Поршнями резонаторов P_2 , P_3 добиваются минимального просачивания переменного тока путем увеличения импеданса на выходных зондах датчика Холла, а также уменьшения выпрямления на этих контактах.

Длина резонаторов P_1 , P_2 , P_3 выбирается равной примерно $\frac{3}{4}\lambda$ и более точно устанавливается при коротком замыкании волновода подвижным поршнем таким образом, чтобы выходное напряжение отсутствовало (или было минимальным) при любых положениях поршня.

Можно также использовать для исследования конструкции ваттметра с двухзондовым датчиком.

Для исследования температурной зависимости выходного сигнала с датчика в СВЧ диапазоне и на постоянном токе было изготовлено устройство, которое позволяло охлаждать датчик с помощью жидкого азота до температуры -160°C и нагревать электрической печкой до температуры $+80^{\circ}\text{C}$. Устройство представляло собой стержень из красной меди. Конiec стержня помещался в дувар с жидким азотом или в электрическую печь. Вся установка

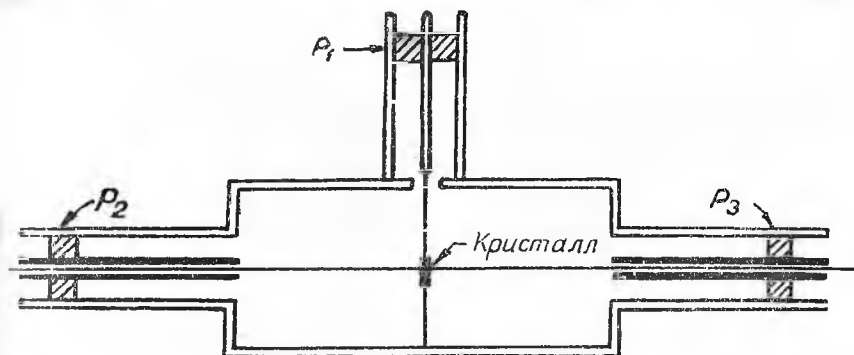


Рис. 2. Принципиальное устройство волноводной головки с датчиком э. д. с. Холла

тщательно теплоизолировалась. Температура измерялась термометром медь-констант, которая крепилась на широкой стенке волновода, то есть вблизи датчика э. д. с. Холла. Индикатором служил гальванометр М17/3 или М195.

Основное внимание уделялось выбору материала для датчиков Холла. Из выражения (1) видно, что это должны быть полупроводниковые материалы с высокой подвижностью носителей заряда. Известно [3], что наибольшей подвижностью обладают полупроводниковые материалы группы $A_{III}B_{V}$, к числу которых относятся InSb и InAs .

Для экспериментальных исследований были выбраны монокристаллические образцы из InSb n - и p -типа и поликристаллические из InAs n -типа. Характеристики этих материалов, измеренных при постоянном токе при температуре 77°K , приведены в таблице 1.

Наибольшей подвижностью носителей заряда обладают InSb n типа.

Таблица 1

Материалы датчика	ρ , ом·см	R_H , см ³ /кул	u , см ² /сек	n , 1/см ³
InSb p -типа	0,461	5200	5900	$2,31 \cdot 10^{15}$
InSb n -типа	0,055	2950	$2 \cdot 10^5$	$5,5 \cdot 10^{14}$
InAs n -типа	0,008	95	21000	$3,7 \cdot 10^{16}$

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА И ОБСУЖДЕНИЕ

Измеренные значения чувствительности приборов, выполненные на указанных датчиках и КСВН в СВЧ диапазоне приведены в таблице 2.

Из таблицы 2 видно, что наибольший выходной сигнал дают приборы, выполненные на датчиках из InSb *n*-типа. Э. д. с. Холла имела линейную зависимость в пределах средних уровней мощности (0—15 мвт).

Таблица 2

Материал датчика	Чувствительность мкв/мвт	КСВН
InSb <i>n</i> -типа	7,3	1,24
InSb <i>p</i> -типа	2,8	1,25
InAs <i>n</i> -типа	0,9	1,20

При исследовании было проверено наличие выпрямления контакта «металл-полупроводник». Результаты эксперимента показали, что контакты были выполнены омическими. Проверка контактов производилась не только на постоянном токе, но и в диапазоне СВЧ.

Температурная зависимость э. д. с. Холла для образцов из InSb *n*- и *p*-типа и InAs *n*-типа показана на рис. 3, 4, 5. Полученные зависимости э. д. с. Холла для InSb *n*-типа, InSb *p*-типа

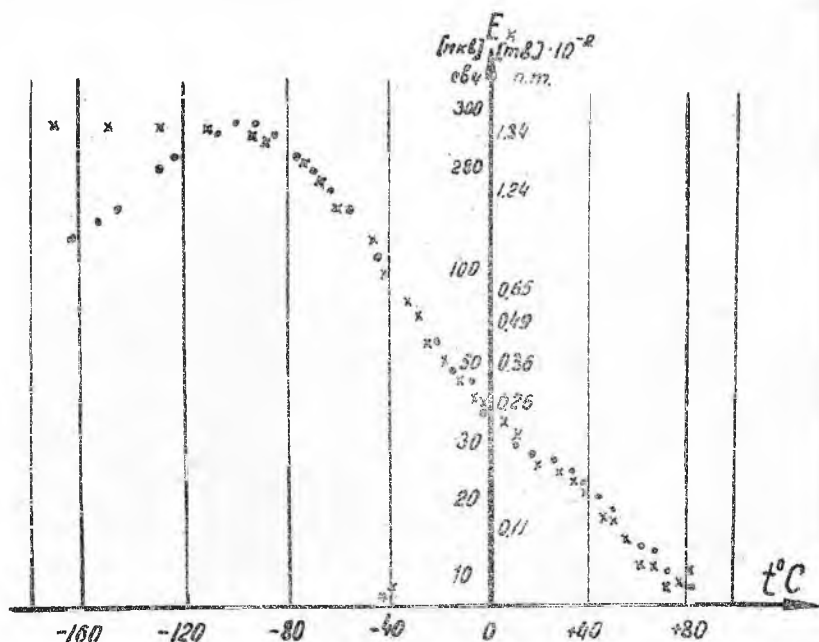


Рис. 3. Изменение э. д. с. Холла в СВЧ диапазоне (о) и на постоянном токе (*) для образцов из InSb *n*-типа от температуры

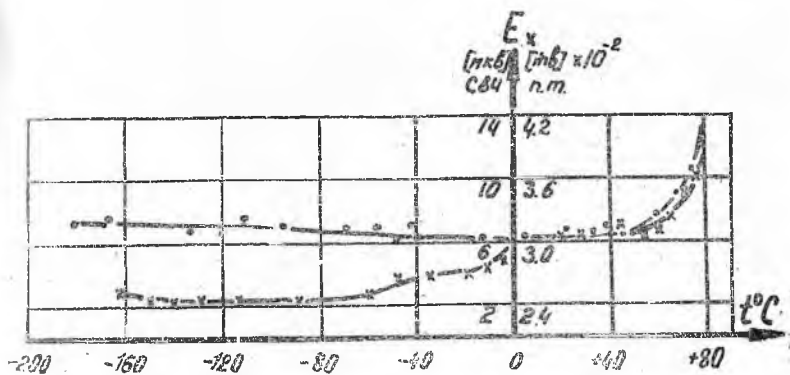


Рис. 4. Изменение э. д. с. Холла в СВЧ диапазоне (*) и на постоянном токе (0) для образцов из InAs n-типа от температуры

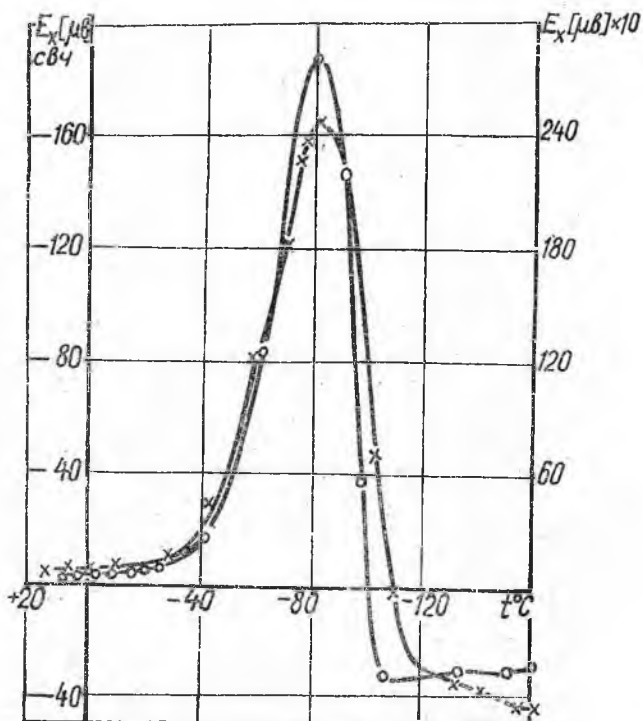


Рис. 5. Изменение э. д. с. Холла в СВЧ диапазоне (*) и на постоянном токе (0) для образцов из InSb p-типа от температуры

и для InAs *n*-типа на постоянном токе от температуры имеют идентичный характер и в СВЧ диапазоне.

Аналогичная зависимость на постоянном токе для такого же типа образцов с такими же концентрациями носителей заряда получена в работах и других авторов [3].

Однако в области низких температур $-110 \div -80^\circ$ для образцов InSb *n*-типа и *p*-типа наблюдается частотная зависимость выходного сигнала. Такая же частотная зависимость существует и для образцов InAs *n*-типа; проявляется она при более высоких температурах (ниже 0°C), чем для антимонида индия. Аналогичная зависимость холловской подвижности от частоты наблюдалась для германия и кремния [4].

На основании выражения (1) выходной сигнал с датчика будет зависеть от частоты только в том случае, когда $\omega\tau \geq 1$, то есть когда время релаксации носителей заряда, связанное с частотой рассеяния на колебаниях решетки $\tau_s = \frac{1}{2\pi\langle\tau\rangle}$ будет иметь порядок величины, сравнимой с частотой поля. Произведенная оценка изменения чувствительности датчика э. д. с. Холла от частоты поля показывает, что для используемых материалов на данной частоте $(\omega\tau)^2 = 0,00625$, то есть уменьшение чувствительности должно быть менее 1%. Наблюдаемая частотная зависимость выходного сигнала при низких температурах, по-видимому, объясняется изменением холловской подвижности носителей заряда, вызванной влиянием фононов, так как известно [5], что влияние фононов существенно для этих материалов в температурной области ниже 200°K .

Частотная зависимость для InAs *n*-типа проявляется при более высоких температурах по сравнению с образцами из InSb, что можно объяснить поликристаллическостью материала. Согласно теоретическим расчетам [6], частотную зависимость в полупроводниках следует ожидать при условии $T < 77^\circ\text{K}$ и $f \geq 100 \text{ Гц}$. Однако проведенные исследования показали, что инерционность носителей заряда наблюдается при более низких частотах (40 Гц) и в более высоком температурном интервале ($173 \div 193^\circ\text{K}$).

ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Бокринская, Е. Г. Скорик. Методы измерения мощности СВЧ. Гос. изд-во тех. лит. УССР, 1962.
2. Kataoka, Res. Electrofechn Lab, 1962, № 626.
3. К. Хилсум, А. Роуз-Инс. Полупроводники типа АIIIВV. Изд-во ин. лит. Москва, 1963.
4. G. E. Hambleton, W. W. Gärtner, Proc «Sympos Millimeter Waves», New York, 1959.
5. I. Ginter, Szymanska. W. Physica status stotussolide, 1963, № 8 p. 1398.
6. Ф. Н. Бранд. «Зарубежная радиоэлектроника». № 1, стр. 14, 1964.