

В.В.Пахомов, В.А.Морозов, Т.Н.СамойловаИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ПОГРЕШНОСТИ  
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ХОЛЛА

Изменение температуры влияет на такие параметры полупроводника, как подвижность носителей заряда и проводимость. Это обуславливает существенную зависимость выходного напряжения преобразователя Холла от температуры [1], [2].

Анализ температурной стабильности преобразователей Холла проведен для случая, когда линия передачи СВЧ нагружена на согласованную нагрузку, а входное сопротивление индикаторного устройства значительно превосходит выходное сопротивление преобразователя Холла. для этих условий напряжение Холла имеет вид

$$U_x = \frac{2\mu R_x \sigma \beta / z_g \| z_0 | \cos \varphi_g}{|z_g|^2 + |z_0|^2 + 2|z_g \| z_0 | \cos \varphi_g} E^+ H^+, \quad (1)$$

где  $R_x$  - постоянная Холла;

$\sigma$  - проводимость полупроводникового материала преобразователя Холла.

Дифференцируя выражение (1) по температуре и проводя ряд преобразований, получим

$$F = \beta - \alpha \left\{ 1 - \frac{\sqrt{A_4} \sigma [|z_g|^2 (tg \varphi_g - \sqrt{A_4} \sigma) + |z_0|^2 (tg \varphi_g + \sqrt{A_4} \sigma)]}{2(1 + A_4 \sigma^2)(|z_g|^2 + |z_0|^2 + 2|z_g \| z_0 | \cos \varphi_g)} \right\}, \quad (2)$$

где  $\alpha = -\frac{1}{\sigma} \frac{d\sigma}{dt}$  - температурный коэффициент удельного сопротивления;

$\beta = \frac{1}{R_x} \frac{dR_x}{dt}$  - температурный коэффициент Холла;

$$A_4 = \left( \frac{1}{\omega \varepsilon} \right)^2.$$

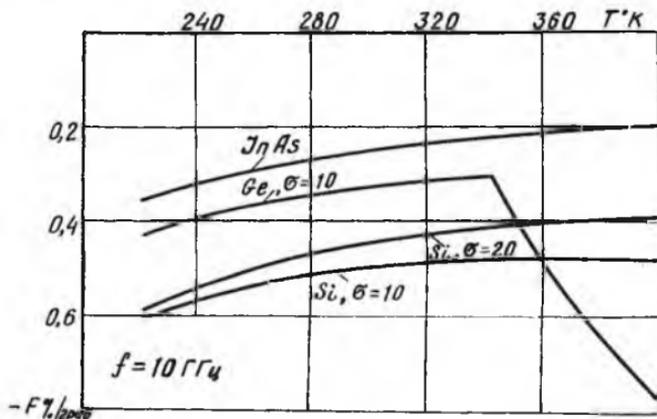
Расчетные величины температурного коэффициента напряжения Холла для преобразователей, выполненных из кремния, германия и арсенида индия представлены на рис. 1. Если значение температурного коэффициента превышает допустимую температурную погрешность в заданном температурном диапазоне, то необходимо применить специальные меры для ее уменьшения.

Термокомпенсация реализуется с помощью схем, содержащих термозависимые элементы. При измерении мощности СВЧ, когда преобразователь непосредственно взаимодействует с электромагнитным полем, наиболее целесообразно применять термокомпенсацию по выходу.

Напряжение на выходе преобразователя Холла этой схемы можно представить в следующем виде:

$$U_{\text{вых}} = \frac{U_x R_g}{R_y + R_g}, \quad (3)$$

где  $R_g$  - сопротивление терморезистора;  
 $R_y$  - выходное сопротивление преобразователя Холла.



Р и с. 1. Зависимость температурного коэффициента напряжения Холла от температуры

Основным условием термокомпенсации является  $\frac{dU_{\text{вых}}}{dt} = 0$  поэтому

$$\frac{R_g}{R_g + R_y} \frac{dU_x}{dt} + \frac{U_x R_y}{(R_y + R_g)^2} \frac{dR_g}{dt} - \frac{U_x R_g}{(R_y + R_g)^2} \frac{dR_y}{dt} = 0. \quad (4)$$

При  $U_x \neq 0$

$$\frac{1}{U_x} \frac{dU_x}{dt} + \frac{R_y}{R_g(R_y + R_g)} \frac{dR_g}{dt} - \frac{1}{R_g + R_y} \frac{dR_y}{dt} = 0. \quad (5)$$

Температурный коэффициент напряжения Холла для некоторых типов преобразователей хорошо аппроксимируется линейной функцией

$$F(t) = \frac{1}{U_x} \frac{dU_x}{dt} = a + b(t), \quad (6)$$

и выходное сопротивление преобразователя Холла может быть представлено в виде

$$R_y = pT^\alpha, \quad (7)$$

где  $\rho$  и  $\alpha$  - величины, определяемые физическими свойствами полупроводника.

Для кремния и арсенида индия указанные условия справедливы [3] в диапазоне температур  $-60^{\circ}\pm +120^{\circ}\text{C}$ , а для германия [4] это условие ограничено более узким диапазоном температур  $-60^{\circ}\pm +60^{\circ}\text{C}$ .

После несложных преобразований, с учетом (4) и (5), закон изменения сопротивления терморезистора можно представить в виде следующей закономерности:

$$R_g = \frac{\rho T^{\alpha}}{c_1 \rho \exp\left(at + \frac{b}{2}t^2\right) - 1}, \quad (8)$$

где  $T = 273 + t^{\circ}\text{C}$ ;

$c_1$  - постоянная интегрирования.

Важно отметить - чтобы увеличить коэффициент преобразования, необходимо иметь по возможности большее относительное сопротивление терморезистора  $K$ , однако, в этом случае увеличивается нелинейность характеристики терморезистора, что усложняет его подбор [5], [6].

При малых  $K$  в качестве терморезистора можно рекомендовать полупроводниковый материал с высоким удельным сопротивлением. Так, расчет, выполненный для терморезистора из кремния, показал возможность уменьшения температурной погрешности преобразователя из арсенида индия с 25 до 5% в диапазоне температур  $0-100^{\circ}$ .

Согласно условиям работы преобразователей Холла, температура их может меняться под воздействием двух факторов: изменения температуры окружающей среды и в результате нагрева их мощностью СВЧ. В этом случае терморезистор должен вводиться в линию СВЧ и удовлетворять следующим требованиям:

а) иметь малые габариты и не искажать поле СВЧ;

б) на выходе терморезистора не должны возникать напряжения, вносящие дополнительную погрешность в измерения.

Экспериментальные исследования проводились по функциональной схеме (рис. 2) в два этапа:

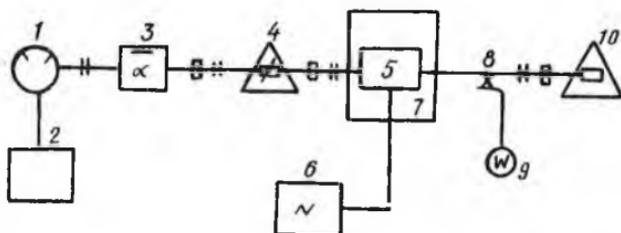
исследовалась температурная стабильность преобразователей Холла, выполненных из кремния, германия и арсенида индия;

проверялась возможность температурной стабилизации напряжения Холла с помощью термозависимых элементов.

На первом этапе эксперимента применялись преобразователи Холла, выполненные из кремния [7], германия (датчик Х101) и арсенида индия (прямоугольная пластина размером  $1 \times 2 \times 0,03$ ). На рис. 3 приведены

коэффициенты температурных коэффициентов напряжения Холла для исследуемых материалов.

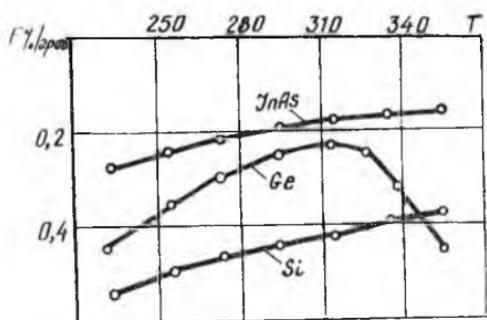
Оценивая полученные результаты, следует отметить, что изменение температуры оказывает существенное влияние на выходные напряжения преобразователей Холла.



Р и с. 2. Функциональная схема исследования температурной погрешности преобразователей Холла:

1-генератор импульсной мощности СВЧ; 2-задающий генератор типа Г5-15; 3-циркулятор типа ЗЦВВ; 4-аттенуатор развязывающий типа Д5-21; 5-преобразователь Холла; 6-осциллограф типа С1-65; 7-термобарокамера типа КТХБ-0,4-155; 8-направленный ответвитель; 9-измеритель мощности типа М4-2; 10-согласованная нагрузка типа Э9-21

При исследовании температурной компенсации напряжения Холла основной трудностью постановки эксперимента заключается в том, что основные полупроводники, выпускаемые промышленностью и удовлетворяющие требованиям по температурному



Р и с. 3. Экспериментальная зависимость температурного коэффициента напряжения Холла от температуры

коэффициенту сопротивления, имеют большие габариты, затрудняющие введение их в тракт линии передачи. Проверка теоретических соотношений осуществлялась на преобразователях Холла из арсенида индия, для которых в качестве термокомпенсирующих элементов могут применяться бруски монокристаллического кремния  $n$ -типа.

Установка преобразователя в волноводную секцию производилась так же, как описано в работе [8]. Позистор на изолирующей подложке крепился на широкой стенке волновода.

Результаты эксперимента по исследованию зависимости холловского напряжения от окружающей среды представлены на рис. 4.

Для сравнения на график в виде пунктирных линий нанесена экспериментальная зависимость нетермостабилизированного преобразователя.

Экспериментально исследовались преобразователи Холла размерами  $12 \times 0,5 \times 0,06$ , выполненные из арсенида индия  $n$ -типа с концентрацией  $n = 3,6 \cdot 10^{22} \text{ м}^{-3}$ , проводимостью  $\sigma = 1,42 \cdot 10^4 \text{ (Ом} \cdot \text{м}^{-1}\text{)}$ , подвижностью  $\mu = 2,44 \text{ м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$ . ФНЧ преобразователя в полосе непрозрачности обеспечивает затухание в 30 дБ. Эксперимент выполнен с двумя позисторами с относительным сопротивлением  $K = 1$  и  $K = 8$  из кремния  $n$ -типа с проводимостью  $\sigma = 20 \text{ (Ом} \cdot \text{м}^{-1}\text{)}$  и концентрацией  $n = 2 \cdot 10^{20} \text{ м}^{-3}$ .

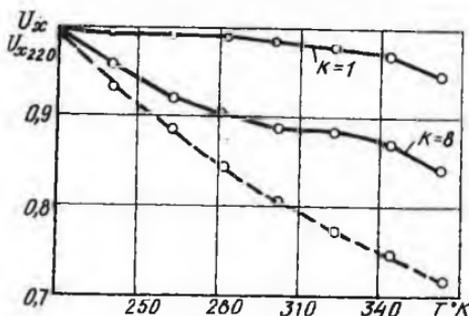
Таким образом, включение в схему позистора с относительным сопротивлением  $K = 1$  позволило уменьшить изменение напряжения Холла в исследуемом температурном интервале до 6% (по сравнению с 28% для нетермостатированного преобразователя).

При изучении влияния температуры разогрева преобразователя Холла полем СВЧ на его температурную стабильность для расширения температурного интервала исследований опыты проводились при  $t = -60^\circ \text{C}$ .

Результаты экспериментальных исследований приведены на рис. 5. На график для сравнения нанесена пунктиром экспериментальная зависимость нетермостабилизированного преобразователя.

Расчетное значение температуры перегрева преобразователя при мощности СВЧ в линии передачи, равной 80 Вт, составило  $130^\circ \text{C}$ .

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод о том, что применение предложенной схемы термостабилизации позволяет обеспе-



Р и с.4. Экспериментальная зависимость напряжения Холла от температуры окружающей среды для термостабилизированного преобразователя

нить одинаковую температурную стабильность напряжения Холла как при воздействии на преобразователь изменяющейся температуры окружающей среды, так и при изменении температуры преобразователя в результате разогрева его полем СВЧ.

### Л и т е р а т у р а

1. Комов А.Н., П а -  
комов В.В. Измерители  
СВЧ-мощности на основе датчи-  
ков ЭДС Холла. "Исследования  
по акустике и радиотехнике".  
Труды КуАИ, вып. 44, Куйбышев,  
1970.

2. С т и л ь б а н с Л.С.  
Физика полупроводников. М., "Со-  
ветское радио", 1967.

3. Х и л с у м К., Р о у з -  
М и н с А. Полупроводники типа  
 $III^*V^*$ . М., И.-Л. 1963.

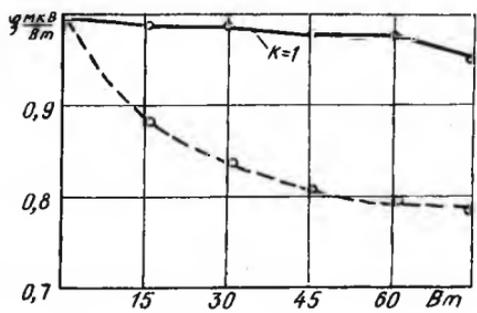
4. Lazk-Hozovitz K., Middleton A.E. and Walerstein J., *Electrical Properties of Germanium alloys. 1. Electrical Conductivity and Hall Effect.* Phys. Rev. 1946, v 69, 5/c.

5. У д а л о в Н.И. Полупроводниковые датчики. М.-Л., "Наука",  
1965.

6. Ш е ф т е л ь Н.Г. "Термосопротивления". М., "Советское ра-  
дио", 1958.

7. П а х о м о в В.В., У с а н о в Д.А., М о р о з о в В.А.,  
Б у р е н и н П.В., Э т е н к о В.Г. Расчет полупроводниковых прео-  
образователей СВЧ-мощности проходного типа. "Электронная техника",  
сер. I, Электроника СВЧ, 1967, вып. 5, с. 83-89.

8. П а х о м о в В.В., М о р о з о в В.А., Э т е н к о В.Г.,  
К у к у ш В.Д. Исследование погрешности при измерении проходящей  
мощности СВЧ с помощью преобразователей на основе эффекта Холла.  
"Электронная техника", сер. I, Электроника СВЧ, 1975, вып. 6, с. 74-  
77.



Р и с.5. Зависимость напряжения Холла от нагрева преобразователя мощностью СВЧ для термостабилизированного преобразователя