

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ $p-n$
ПЕРЕХОДОВ

Е.А.Карасик, Н.В.Серяпина

В последнее время эпитаксиальная технология приобретает в полупроводниковой электронике все большее распространение. Имеются сообщения о получении эпитаксиальных диодов и транзисторов [1], [2], [3]. Эпитаксиальная технология позволяет весьма просто получить многослойные структуры, что открывает большие возможности для применения их в микроэлектронике.

Нами исследовались $p-n$ переходы, полученные эпитаксиальным наращиванием монокристаллического Ge одного типа проводимости, на германиевой подложке противоположного типа проводимости по технологии, описанной в работе [4].

Выявление $p-n$ перехода и определение глубины его залегания проводилось методом косого шлифа: образцы с эпитаксиальной пленкой шлифовались под углом 1° . Граница перехода определялась либо по изменению знака термоэдс вдоль шлифа, либо визуальным методом электрического травления в 10 %-ом растворе КОН.

Для получения омического контакта к пленке n -типа применялся сплав $Sn + 0,2\% Sb$; к пленке p -типа $Sn + 1\% In + 0,5\% Ga$, либо чистый In .

Проверка омичности контактов производилась измерением

распределения потенциала вдоль образца и с помощью вольтамперных характеристик.

1. Методика изготовления $p-n$ переходов. На очищенную поверхность пленки наплавалась капля сплава диаметром ~ 1 мм. Глубина впавления сплава в Ge , согласно расчету по методике, описанной в [5], не превышала 2 мк.

Кристалл тщательно промывался, высушивался, и капля сплава покрывалась слоем пицеина. Затем кристалл травился в $CP-4$ до тех пор, пока на не защищенной пицеином поверхности не обнажился материал подложки. Защитное покрытие удалялось в горячем толуоле.

Подготовленная таким образом структура наплавалась на никелевый кристаллодержатель, к капле приплавалась луженая проволочка, и кристаллодержатель с образцом монтировался на ножку триода П6. После травления в кипящем пергидроле в течение 1 мин, образец промывался и сушился.

2. Электрические характеристики и обсуждение результатов. Изменялись вольт-емкостные и вольт-амперные характеристики полученных $p-n$ переходов.

На рис. 1 приведена кривая $1/c^2(V)$ одного из образцов.

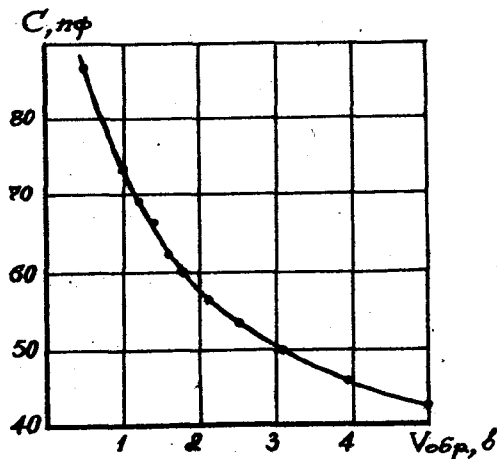


Рис. 1. Зависимость емкости $p-n$ перехода от приложенного обратного напряжения.

Он изготовлен из пластинки Ge p -типа с $\rho = 5$ ом.см с выращенной на ней пленкой n -типа ($\rho = 0,3$ ом.см - по данным измерений четырехзондовой микроголовкой). Толщина подложки $d_{подл} = 600$ мк, толщина пленки, измеренная по косому шлифу, $d_{пл} = 18 + 20$ мк. Площадь перехода составляла ~ 1 мм².

Квадратичная зависимость емкости перехода от приложенного напряжения свидетельствует о наличии резкого перехода. Из наклона прямой $1/c^2(V)$ определена концентрация носителей в подложке $N = 9 \cdot 10^{14}$, что хорошо согласуется с электрическими свойствами материала подложки.

На рис. 2 представлены статические вольт-амперные характеристики для этого $p-n$ перехода, снятые в интервале температур от $+25^\circ$ до -196°C .

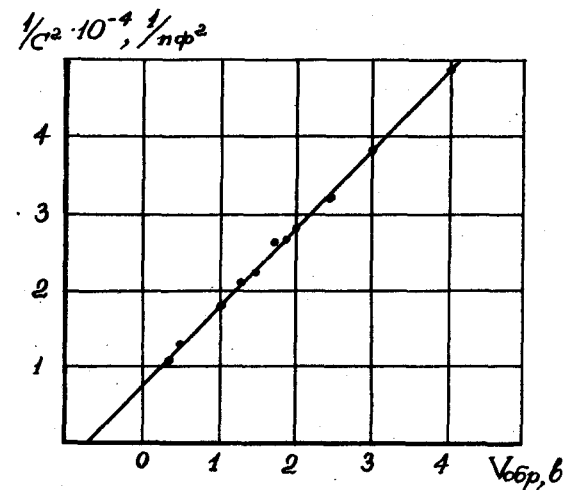


Рис. 2. Зависимость $1/c^2$ от приложенного обратного напряжения.

Обратные токи даже при небольших смещениях достигают большой величины, что объясняется наличием в пленке и промежуточном слое большого количества структурных нарушений, которые приводят к большим токам утечки.

При $V > \frac{kT}{q}$ прямой ток с увеличением напряжения растет по закону $I \sim \exp \frac{qV}{\beta kT}$.

Из наклона прямой $\ln I(V)$ определена величина β .

При комнатной температуре $\beta = 6$, то есть кривая отклоняется от идеальной экспоненты (см. рис. 3).

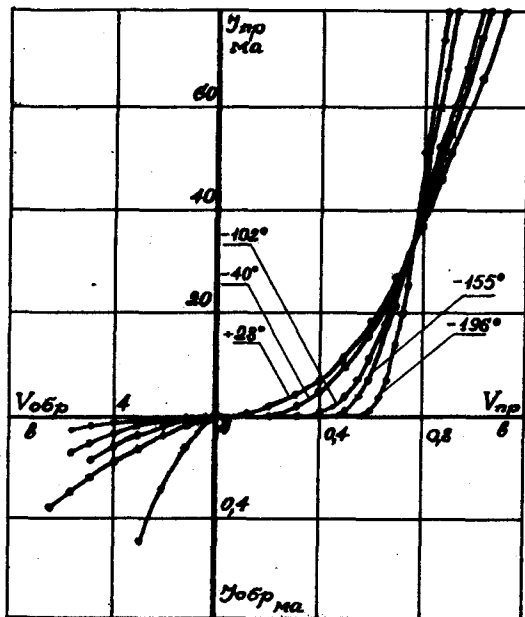


Рис. 3. Статические вольт-амперные характеристики при различных температурах.

Прямой ток с увеличением V экспоненциально возрастает до тех пор, пока не будет уничтожен потенциальный барьер, то есть до $V=V_D$. При дальнейшем увеличении напряжения ток через $p-n$ переход определяется сопротивлением толщи полупроводника и изменяется по линейному закону.

$$J = R_{ост}^{-1} (V - V_{отс}), \quad (I)$$

где $R_{ост}$ - остаточное сопротивление ;
 $V_{отс}$ - напряжение отсечки ;

$$R_{ост} = \frac{dV}{dJ} = const \text{ при } J > 30 \text{ ма/см}^2 (j \approx 3 \text{ а/см}^2).$$

На рис. 4 и 5 приведена зависимость $R_{ост}$ и $V_{отс}$ от температуры.

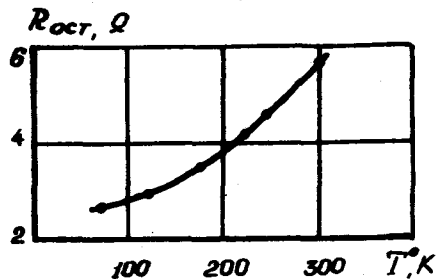


Рис. 4. Зависимость остаточного сопротивления перехода от температуры.

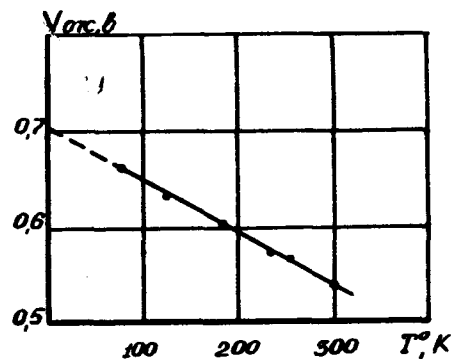


Рис. 5. Зависимость напряжения отсечки от температуры.

Экстраполяция $V_{отс}$ к температуре абсолютно нуля ($T=0K$) дает $V_{отс} = \frac{\Delta E_0}{q} = 0,76$, что согласуется с шириной запрещенной зоны Ge .

Из вольт-амперных характеристик видно, что при напряжениях от 0,7 до 0,75 в имеет место инверсия температурной зависимости прямого тока. Это согласуется с данными теории $p-n$ переходов при больших уровнях инжекции [6]. Как следует из этой теории, напряжение инверсии соответствует ширине запрещенной зоны ΔE_0 ($V_{инв} = \frac{\Delta E_0}{q}$).

Ток инверсии находится из выражения (I)

$$J_{инв} = -\frac{dV_{отс}}{dT} \left(\frac{dR_{ост}}{dT} \right)^{-1}$$

Так как $\frac{dV_{отс}}{dT} = const$, а $\frac{dR_{ост}}{dT}$ с ростом T увеличивается, то $J_{инв}$ уменьшается. Поэтому пересечение кривых, описывающих

вольт-амперную характеристику в ее линейной части, происходит в разных точках. Этой теорией описываются полученные нами экспериментальные данные для эпитаксиальных переходов.

Эпитаксиальной технологией получены $p-n$ переходы. Изученные характеристики указывают на резкий переход. Сильное влияние на обратные токи через переход оказывают дефекты структуры переходного слоя подложка-пленка и самой пленки.

При дальнейшем совершенствовании технологии эпитаксиального выращивания можно получить $p-n$ переходы с лучшими электрическими характеристиками.

Поступила в редакцию
 И-т физики полупроводников СО АН СССР 20.X.1964г.

Л и т е р а т у р а

1. Elektron News , 1962, № 7, р. 347.
2. Bell Lab. Res., 1963, т 40, № 8, р. 289.
3. "Радиотехника за рубежом", 1964, № 15, стр. 9.
4. Отчет по теме "Эпитаксия А", 1964, ИФП, СО АН СССР.
5. Кацман Я.А. Полупроводниковые плоскостные маломощные триоды, ГЭИ, 1961.
6. Стафеев В.И. КТФ, 1958, 28, 8, 1631.