

ТЕРМОСТИМУЛИРОВАННЫЕ $p-n$ -ПЕРЕХОДЫ

И.К.Камилов, М.М.Гаджиалиев

Впервые предложен и реализован принципиально новый метод создания $p-n$ -переходов - термостимулированных диодов.

При создании $p-n$ -переходов основными и практически единственными остаются методы сплавления и диффузии донорных или акцепторных примесей в полупроводниках. Могут ли существовать принципиально иные методы их создания или формирования?

Основная идея нашего подхода заключается в следующем. Известно, что в примесных полупроводниках при определенной температуре, характерной для данного полупроводникового вещества, наблюдается изменение знаков постоянной Холла в термоэдс ¹. Эта температура называется температурой инверсии T_i . Ниже T_i постоянная Холла и термоэдс и, следовательно, тип проводимости, имеет один знак, выше - другой. Если создать градиент температуры на образце в окрестности T_i , то часть образца с $T < T_i$ будет иметь один тип проводимости, например p -тип, а часть с $T > T_i$ - другой (n -тип). Таким образом, можно стимулировать или индуцировать в образце возникновение своеобразного $p-n$ -перехода. Естественно назвать его термостимулированным $p-n$ -переходом, и он будет существовать до тех пор, пока на образце поддерживается соответствующий градиент температуры. В этом смысле термостимулированный $p-n$ -переход, будет являться динамическим, так как он возникает и исчезает вместе с градиентом температуры. В схеме выпрямления такой $p-n$ -переход можно рассматривать как термостимулированный диод или выпрямитель. Чтобы экспериментально доказать, что это действительно так, мы сняли вольтамперные характеристики (ВАХ), реализовав три следующих варианта опыта.

Был создан градиент температуры, при котором весь образец находится: 1) ниже T_i - чисто примесная область ($T_i > T_n > T_x$), 2) выше T_i - чисто собственная область ($T_i < T_x < T_n$), 3) в окрестности T_i ($T_x < T_i < T_n$). Только в этом последнем случае в образце возможно возникновение термостимулированного $p-n$ -перехода. T_n - температура нагревателя, а T_x - холодильника.

Кроме того, в третьем варианте эксперимента величиной области, занимаемой тем или иным тепом проводимости в образце можно управлять соответствующим подбором величины градиента температуры, что также позволяет менять ширину $p-n$ -перехода. Соответствующие эксперименты были проведены нами на германии ($T_i \approx 370$ К) и кремнии ($T_i \approx 420$ К). Методика эксперимента описана в ² и вкратце заключается в следующем.

На образце, имеющем на торцах омические контакты, к которым подведены токопровода, создается градиент температуры и записываются вольтамперные характеристики.

На рисунке приведены результаты исследований на гантелеобразном образце дырочного германия с $\rho = 50$ Ом · см с размерами $1 \times 1 \times 1,6$ мм. Градиент температуры составлял 10^3 град/см. Результаты измерений первого (кривая 3) и второго вариантов (кривая 4), показывают наличие небольшой асимметрии на ВАХ. В этих случаях на образце могут возникнуть переходы типа " $p^+ - p$ " и " $n^+ - n$ " соответственно, но эти переходы, как известно, практически не вызывают выпрямления. Как и предполагалось, только в третьем, наиболее интересном варианте (кривая 2), наблюдается существенное выпрямление. На рисунке приведена также ВАХ рассчитанная по диффузионной теории для образца германия с плавным $p-n$ -переходом (кривая 1).

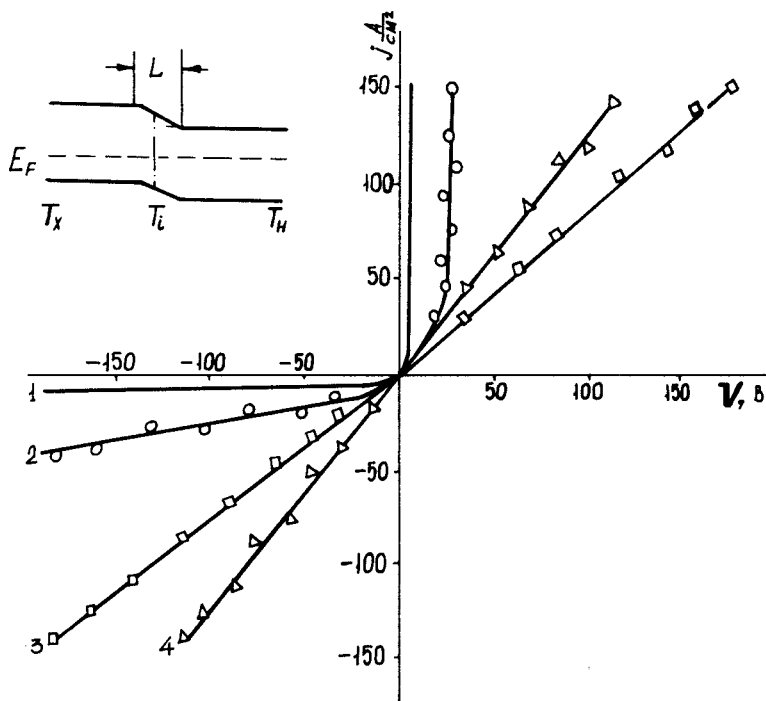


Рис. 1. Вольтамперная характеристика (ВАХ): 1 - теория, 2 - эксперимент при условии $T_x < T_i < T_n$, 3 - эксперимент в чисто примесной области, когда реализовано неравенство $T_i > T_n > T_x$, 4 - эксперимент, выполненный в области температур с чисто собственной проводимостью $T_i < T_x < T_n$. На вставке: T_n - температура нагревателя; T_x - температура холодильника; T_i - температура инверсии знака постоянной Холла, L - ширина $p-n$ -перехода

Знак выпрямления также свидетельствует о наличии $p-n$ -перехода: он соответствует случаю, когда к холодильнику, т.е. к p -области приложен "плюс" источника тока, а к нагревателю, к n -области, - "минус". Прямой ток имеет значение 1,6 А, обратный - 60 мА. Прямое напряжение $V = 10$ В, а обратное - 150 В. В импульсном режиме прямой ток равняется 3,2 А, а обратный - 0,8 мА. При этом коэффициент выпрямления доходит до $10^3 \div 10^4$, а максимальная плотность тока в рабочей части лучших диодов составляет 10^3 А/см², что на один-два порядка превышает допустимые значения плотности тока на обычных $p-n$ -переходах. Все эти факты дают основание утверждать, что под действием градиента температуры, созданного в широкозонных полупроводниках в окрестности T_i , можно формировать $p-n$ -переход.

Мы выражаем свою признательность академику А.С.Боровику-Романову за полезные советы и интерес к работе.

Литература

1. Таблицы физических величин. Справочник под ред. И.К.Кикоина, М.: Атомиздат, 1976, главы 21 и 26.
2. Амирханов Х.И., Баширов Р.И., Гаджиалиев М.М., Елизаров В.А. Неравновесные носители тока в полупроводниках, 1982, Махачкала, с.4.

Институт физики
Дагестанского филиала
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
30 августа 1990 г.
После переработки
15 ноября 1990 г.