

О ПИНЧ-ЭФФЕКТЕ В ПОЛУПРОВОДНИКАХ С СОБСТВЕННОЙ ПРОВОДИМОСТЬЮ

И.И.Бойко

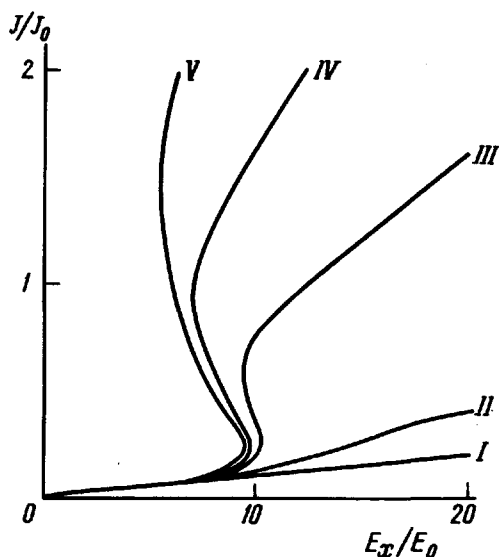
Полупроводники с собственной проводимостью (число зонных электронов равно числу зонных дырок) высокой концентрацией и подвижностью носителей тока являются удобным объектом для наблюдения пинч-эффекта – пространственного перераспределения носителей в кристалле под действием собственного магнитного поля тока, протекающего через кристалл.

Феноменологическое рассмотрение пинч-эффекта проведено для однородного кристалла с изотропной проводимостью, имеющего форму пластины ($-\infty < x < \infty$; $-d \leq y \leq d$; $-l \leq z \leq l$), причем $d \sim L$, где L – биполярная диффузионная длина носителей, $l \gg d$, электрический ток направлен вдоль x -оси. Стационарное пространственное распределение носителей получено из совместного решения уравнений Максвелла и уравнения непрерывности со стандартными граничными условиями, учитывающими рекомбинацию неравновесных носителей на поверхностях $y = \pm d$. Предположение о малости дебаевской длины экранирования, в сравнении с диффузионной длиной, позволяет воспользоваться приближением квазинейтральности. Эффекты, связанные с разогревом носителей в электрическом поле, здесь не рассматриваются.

Как показывает расчет, по мере увеличения полного тока I носители вытягиваются из объема к центральному сечению пластины ($y = 0$). При $d \leq L$ обогащение носителями центральной области и обеднение периферийной (в y -направлении) могут достигать значительных размеров. В этой ситуации существенную роль играют условия генерации-рекомбинации на поверхностях $y = \pm d$. Уменьшение числа носителей у поверхности приводит к тому, что поверхности кристалла, при отличной от нуля скорости поверхностной рекомбинации s , выступают в качестве поставщиков в объем дополнительных носителей. Увеличение с ростом тока числа носителей в кристалле приводит к падению напряжения на нем (в режиме контролируемого тока) и появлению на вольтамперной характеристике участка с отрицательным дифференциальным сопротивлением. Если s конечной величины, поверхностная генерация при дальнейшем увеличении тока достигает насыщения и проводимость кристалла стремится к конечному, не зависящему от тока, значению. В итоге, вольтамперная характеристика кристалла имеет хорошо выраженную s -образную форму с двумя линейными участками – в области слабых и сильных токов (см.рис.). Если в предпинчевом режиме сопротивление кристалла было равно R_0 , то в пределе сильных токов оно равняется $R_0 (1 + \Phi)^{-1}$, где $\Phi = sr/d$, r – время рекомбинации. Согласно оценкам в собственном InSb при $T \sim 300^\circ\text{K}$ отрицательное дифференциальное сопротивление должно наблюдаться в области электрических полей $E_x \sim 200$ в/см.

Рассмотрен также пинч-эффект в пластинке для случая, когда полупроводник помещен во внешнее постоянное магнитное поле, направленное вдоль z -оси. В этом случае наряду с пинч-эффектом возникает

размерный эффект, описанный в [1]. Скорости поверхностной рекомбинации на противоположных гранях $y = \pm d$ полагались различными. В присутствии внешнего магнитного поля слой повышенной концентрации носителей реализуется вблизи одной из граней пластины (при перемене знака электрического или магнитного поля – у противоположной к первоначальной грани). Несимметричность условий рекомбинации на поверхностях $y = \pm d$ приводит к несимметричной (по отношению к знаку



Вольтамперная характеристика кристалла при $d/L \ll 1$. I. $\Phi = 0$; II. $\Phi = 1$; III. $\Phi = 7$; IV. $\Phi = 15$; V. $\Phi = 30$. Здесь $J_0 = I_c^2 / \pi U_n$; $E_0 = 2kT / ed$; U_n – подвижность электронов – полагается значительно превышающей подвижность дырок

электрического поля) вольтамперной характеристике. В целом вид характеристики существенно определяется величиной внешнего магнитного поля; в частности, характеристика может иметь S -образную форму.

В недавно вышедшей работе [2] описан случай экспериментального наблюдения S -образной характеристики в тонком образце $InSb$, помещенном в поперечное сильное магнитное поле. Отрицательное дифференциальное сопротивление, по мнению автора работы [2], связано с пробоем в поперечном холловском поле. Поскольку данные о величине S не приведены, нет возможности сделать сейчас окончательный вывод о действительном механизме явления, обнаруженного в работе [2].

Автор выражает глубокую благодарность Э.И.Рашба за предложение темы и постоянное внимание к работе.

Институт полупроводников
Академии наук Украинской ССР

Поступило в редакцию
26 марта 1967 г.

Литература

- [1] H.Welker, Z.Naturforsch., 6 a, 184, 1951; O.Madelung, L.Tewordt, H.Welker. Z.Naturforsch., 10 a, 476, 1955.
- [2] K.Ando. J. of the Phys. Soc. of Japan, 21, 1295, 1966.