

ПИНЧ-ЭФФЕКТ В ПОЛУПРОВОДНИКАХ В СЛУЧАЕ БИМОЛЕКУЛЯРНОЙ РЕКОМБИНАЦИИ

24

И.И.Бойко, В.В.Владимиров

При прохождении сильного тока через полупроводник с биполярной проводимостью пространственное распределение носителей становится неоднородным – пинч-эффект в электронно-дырочной плазме. Детальная картина отклонения пространственного распределения от равновесного существенно зависит от условий объемной и поверхностной генерации-рекомбинации носителей тока. В тех случаях, когда время объемной рекомбинации носителей монотонно убывает с ростом концентрации последних (например, бимолекулярная рекомбинация), вольт-амперная характеристика кристалла в области больших полей сублинейна; при определенных условиях возникают падающие характеристики. Мы ограничимся здесь рассмотрением тех случаев, когда темп генерации носителей не зависит от тока и концентрации носителей.

Если роль поверхностных процессов незначительна, в условиях линейной (мономолекулярной) объемной рекомбинации средняя по кристаллу плотность носителей при пинч-эффекте не зависит от тока, проходящего через кристалл. Вольт-амперная характеристика в этом случае практически линейна, поскольку магнетосопротивление при пинч-эффекте обычно невелико. О влиянии поверхностной рекомбинации-генерации в этом случае см. работу [1].

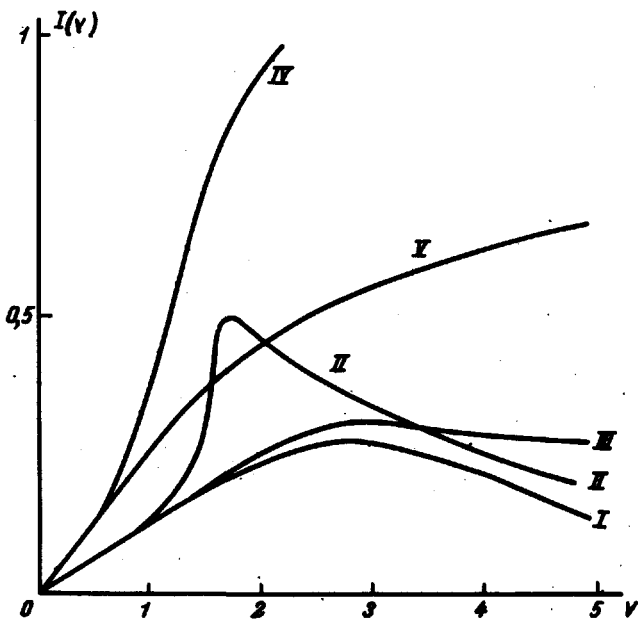
При достаточно больших отклонениях концентрации носителей от равновесного значения весьма типичным является случай квадратичной (бимолекулярной) рекомбинации. В этом случае при пинч-эффекте средняя концентрация носителей тока N может убывать с ростом дрейфовой скорости носителей v . Если скорость поверхностной рекомбинации s

равна нулю, $dN/dv < 0$ при всех v . При s , отличном от нуля, $dN/dv < 0$ лишь в области большого тянущего электрического поля E , когда поток носителей, генерируемых на поверхности, близок к насыщению.

Вид функции $N(v)$ в области больших v определяется также геометрией кристалла и степенью вырождения носителей. Под большими v мы понимаем те значения дрейфовой скорости, при которых основная часть носителей тока сосредоточена в области, поперечные размеры которой меньше биполярной диффузионной длины L .

В отсутствие вырождения асимптотика решения для кристалла в форме бесконечной тонкой пластины имеет вид: $N(v) \sim v^{-2/3}$, для бесконечного тонкого цилиндра $N(v) \sim v^{-2}$.

Если носители тока сильно вырождены (достаточно вырождения носителей с более высокой подвижностью), асимптотика имеет вид: $N(v) \sim v^{-6/11}$ в пластине и $N(v) \sim v^{-6/5}$ в цилиндре.



Вольт-амперная характеристика $I(v) = vN(v)$ при бимолекулярной рекомбинации:
 I, III, V — $\Phi = 0$; II — $\Phi = 5$; IV — $\Phi = 7$

Полный ток, текущий через кристалл, пропорционален величине $vN(v)$. Связь дрейфовой скорости v с полем E может быть нелинейной, если подвижность носителей зависит от E . Ниже мы будем называть вольт-амперной характеристикой функцию $I(v) = vN(v)$; при $v \sim E$ эта характеристика является привычной вольт-амперной характеристикой. Из приведенных выражений видно, что для кристалла, име-

ющего форму пластины, при больших ν функция $I(\nu)$ сублинейна, для кристалла в форме цилиндра характеристика имеет отрицательный наклон. Таким образом, в случае бимолекулярной рекомбинации возникновение пинча может быть отмечено по началу спада вольт-амперной характеристики. Указанная особенность наблюдалась экспериментально А.П.Шотовым.

На рисунке представлены типичные вольт-амперные характеристики. Кривые I, II, III относятся к цилиндрической геометрии кристалла; кривые IV, V – к плоской; Кривые I, II, IV относятся к случаю невырожденной плазмы, кривые III, V – к случаю вырожденной плазмы. Здесь $\Phi = sr/d$, где r – время рекомбинации в слабонеравновесной плазме, d – полутолщина пластины (радиус цилиндра). Рисунок выполнен для случая $L \gg d$ в произвольном масштабе по ν и I ; масштаб по оси ординат различен для пластины и цилиндра.

Основные особенности вольт-амперных характеристик должны реализовываться при средней плотности тока в кристалле $\sim 10^5$ а/см².

Институт полупроводников
Академии наук Украинской ССР

Поступило в редакцию
25 ноября 1968 г.

Литература

- [1] И.И.Бойко. Письма в ЖЭТФ, 5, 421, 1967; ФТТ, 9, 2929, 1967.