

Отметим, что при $T = 300 \text{ К}$, $e/kT = 39 \text{ В}^{-1}$. Поэтому, прикладывая даже небольшое напряжение, можно очень сильно менять концентрацию неосновных носителей на границах. Например, при $u = 0,2 \text{ В}$ она изменяется в $e^8 \approx 10^3$ раз.

§ 7. Обнаружение неравновесных носителей заряда

Избыточные электроны и дырки могут быть обнаружены по изменению электропроводности. Они могут быть также зарегистрированы с помощью p — n -перехода. Когда вблизи перехода появляются избыточные носители, то электрическое поле, существующее внутри перехода, затягивает электроны в n -область, а дырки — в p -область (рис. 7.11). Поэтому при разомкнутой цепи n -область заряжается отрицательно, а p -область — положительно, т. е. в p — n -переходе возникает эдс. При замыкании цепи в ней возникает ток.

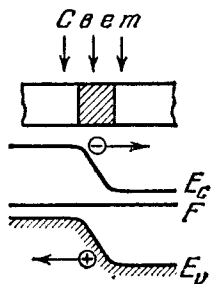


Рис. 7.11. При возникновении в окрестности p — n -перехода неравновесных электронов и дырок появляется эдс.

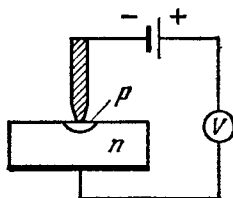


Рис. 7.12. p — n -переход в точечном контакте металл — полупроводник.

Микроскопические p — n -переходы часто образуются в контактах металлической заостренной проволоки с полупроводником, в особенности после «формовки» контакта импульсами сильного тока. Причины образования переходов могут быть различны: диффузия материала проволоки внутрь полупроводника, изменение концентрации электрически активных примесей при местном разогреве вследствие формовки (образование так называемых «термических» донорных или акцепторных центров) и другие. Для увеличения потенциального барьера внутри перехода на контакт иногда накладывают отрицательное напряжение (рис. 7.12).

На рис. 7.13, *a* показана одна из схем для исследования явления инжекции. Образец полупроводника (который для определенности положен n -типа) имеет форму тонкого и длинного стержня («нитевидный» образец). Инжекция осуществляется в точечном контакте Э («эммиттер»), к которому прикладывают короткие импульсы напряже-

ния от импульсного генератора Γ . Инжектированные носители регистрируются вторым точечным контактом K («коллектор»). Об относительных изменениях концентрации избыточных носителей можно судить по напряжению u на нагрузочном сопротивлении r в цепи коллектора. Это напряжение может быть усилено и зарегистрировано осциллографом O (развертка которого запускается генератором Γ). Если к торцам образца не приложено внешнее напряжение или это напряжение имеет знак, показанный на рисунке, то сигнал коллектора имеет вид, изображенный на рис. 7.13, б. Когда генератор Γ создает импульс напряжения, изменение потенциала эмиттера передается по цепи практически мгновенно (со скоростью

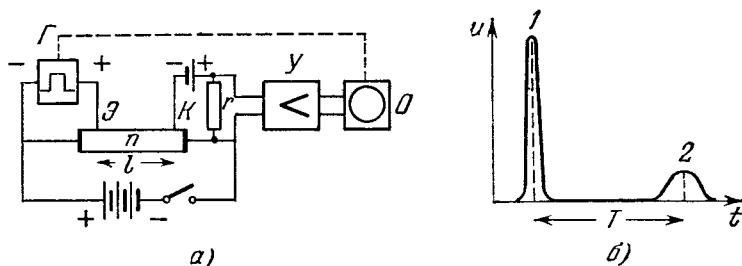


Рис. 7.13. Измерение скорости движения пакета инжектированных носителей.

света), и на экране виден острый пик 1 («наводка»). При этом в образце вблизи \mathcal{E} возникает пакет инжектированных носителей, который движется от \mathcal{E} к K . Когда пакет достигает коллектора, появляется пик второго сигнала 2 (который более размыт вследствие диффузионного расплывания пакета). При изменении полярности внешнего напряжения сигнал 2 не появляется.

Этот опыт (и ему подобные) обнаруживает неожиданную на первый взгляд особенность движения инжектированных носителей: пакет, будучи электрически нейтральным, управляется электрическим полем. Более того, направление его движения совпадает с направлением движения неосновных носителей, хотя их концентрация может быть на много порядков меньше концентрации основных носителей. Эта особенность, однако, становится вполне понятной, если учесть кулоновское взаимодействие между дырками и электронами (см. § 8).

Измеряя время T движения пакета и зная расстояние l между \mathcal{E} и K , можно найти скорость пакета $v = l/T$. Она оказывается пропорциональной полю \mathcal{E} внутри образца. Отсюда можно определить подвижность инжектированного пакета:

$$\mu = \frac{v}{\mathcal{E}}.$$

Подобные опыты показывают, что если только материал не близок к собственному, то μ не только по знаку, но и по величине практически совпадает с подвижностью неосновных носителей.

На рис. 7.14, а показан принцип другой типичной схемы, в которой избыточные носители создаются светом, а роль эмиттера играет изображение I' ярко освещенной узкой щели I . Концентрация избыточных носителей (в относительных единицах) измеряется опять при помощи точечного коллектора K . Для повышения чувствительности схемы интенсивность света можно модулировать с низкой

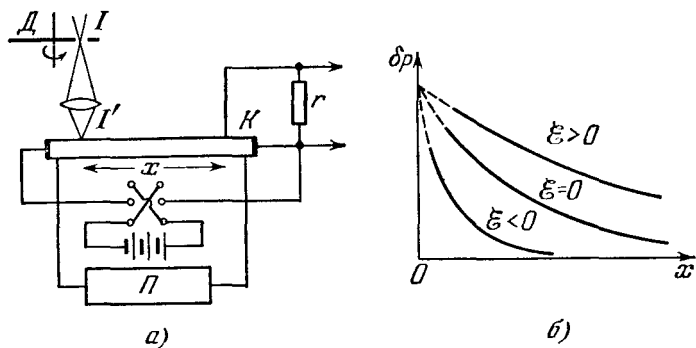


Рис. 7.14. Измерение длины диффузии и длины затягивания электрическим полем.

частотой (например, вращающимся диском D со щелями), что позволяет легко усиливать сигнал коллектора. Для точного определения тянущего поля показан потенциометр Π , позволяющий измерять падение напряжения в образце компенсационным методом и этим исключить возможные скачки потенциала в зондах.

Изменяя в этой схеме расстояние x между световой щелью и коллектором, можно определить стационарное распределение концентрации неравновесных (избыточных) носителей в пространстве. Если концентрация избыточных носителей δp достаточно мала ($\delta p / (n_0 + p_0) \ll 1$), то δp убывает по мере удаления от освещенной части по экспоненциальному закону (рис. 7.14, б). Длина L , на которой δp уменьшается в e раз в отсутствие электрического поля, есть, по определению, *длина диффузии* неравновесных носителей.

В присутствии электрического поля распределение концентрации определяется другой характерной длиной $l(\mathcal{E})$, зависящей от поля \mathcal{E} (*длиной затягивания*). Если направление поля соответствует движению неосновных носителей вглубь образца, то $l(\mathcal{E}) > L$ и нейтральная область с избыточными носителями растягивается. При противоположном направлении поля $l(\mathcal{E}) < L$ и область повышенной концентрации носителей сжимается (рис. 7.14, б).