

притягивает электроны, в результате чего у перехода образуется тонкий слой P_1 эл.-нейтральной электронно-дырочной плазмы. Протекающий электронный ток создаёт в базовой области поле, вытягивающее из слоя P_1 дырки. Эти дырки с компенсирующими их электронами движутся к n -слою в условиях биполярного дрейфа при промежуточном уровне инжек-

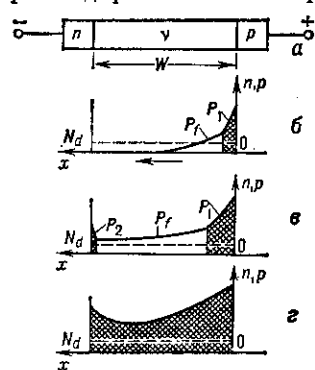


Рис. 1. $p-n-v-p$ -диод: а — $p-n-v-p$ -структура; б — формирование плазменного слоя P_1 и концентрационной волны P_f на начальной стадии включения; в — формирование слоя P_2 ; г — квазистационарное распределение плазмы после смятия диффузионных слоёв.

ции, т. е. формируется плазменная концентрац. волна P_f , быстро достигающая n -слоя; после этого у его границы начинается формирование эл.-нейтрального плазменного слоя P_2 . Одновременно с быстрым биполярным дрейфом идёт сравнительно медленное встречное диффузионное движение плазменных слоёв P_1 и P_2 , после смыкания k -рых в базе через определ. время формируется стационарное распределение плазмы.

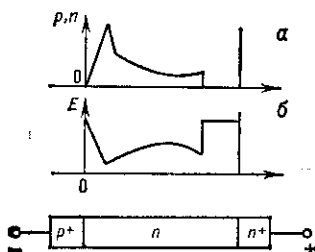


Рис. 2. Распределение концентрации плазмы (а) и напряжённости поля (б) при переключении диода на дрейфовой стадии накопления.

Характерные времена процессов биполярного дрейфа лежат в наносекундном, а времена диффузионных процессов — в микросекундном диапазонах ($t \approx W^2/2D$, где D — коэф. амбиполярной диффузии, W — ширина базы); однако биполярный дрейф идёт при концентрации носителей, не сильно превышающей уровень легирования, а для диффузионных процессов превышение обычно составляет 2—3 порядка и более.

Характер процесса восстановления диода при переключении на обратное смещение существенно зависит от того, на какой стадии был прерван процесс накопления плазмы при прямом смещении. Если длительность накопления была достаточна для «схлопывания» диффузионных слоёв, то восстановление протекает довольно медленно. Дырки из плазмы у $p-n$ -перехода выводятся в p -слой, а электроны движутся к n -слою в слабом поле, создаваемом протекающим через плазму практически постоянным обратным током; одновременно идёт рекомбинация носителей в плазме. После спада концентрации дырок у $p-n$ -перехода до равновесного значения начинает формироваться ОПЗ, граница k -рой смещается к n -слою со скоростью движения электронов в слабом поле; ток в цепи падает, а напряжение на диоде нарастает. Затем ОПЗ занимает весь базовый слой, избыточные носители полностью удаляются из базы, и процесс переключения заканчивается; длительность такого процесса лежит обычно в микросекундном диапазоне. Характер процесса радикально меняется, если переключение производится на дрейфовой стадии накопления. В этом случае тонкий слой плазмы P_2 истощается очень быстро и у n -слоя формируется фронт концентрац. волны, k -рый в условиях биполярного дрейфа отходит от n -слоя, оставляя после себя область с концентрацией электронов, определяемой исходным легированием. Поскольку при биполярном дрейфе скорость носителей тем больше, чем меньше концентрация, то крутизна заднего фронта при движении

нарастает. Одновременно идут рассасывание плазмы и образование ОПЗ у $p-n$ -перехода, причём момент подхода фронта к плазменной области P_1 совпадает с её полным истощением, и далее ОПЗ расширяется очень быстро за счёт ухода осн. носителей в поле, создаваемое в нейтральной v -базе обратным током. Т. о., база легирована слабо, что даже при небольшом токе поле достаточно велико, для того чтобы носители и, следовательно, ОПЗ двигались с насыщенной скоростью; тогда длительность процесса восстановления составляет единицы $нс$ и менее. Поэтому при дрейфовом характере процессов включения и выключения быстрдействие $p-n-v-p$ -диода очень велико, но концентрация плазмы в базе и, следовательно, проводимость её во включённом состоянии сравнительно невелики, в то время как диффузионные процессы позволяют обеспечить высокую проводимость, но протекают значительно медленнее. Для управления сравнительно небольшой СВЧ-мощностью, особенно в приёмных трактах, используются низковольтные pin -диоды с тонким базовым слоем. В этом случае достаточное быстрдействие обеспечивают диффузионные процессы, позволяющие осуществить очень большие перепады концентрации и, следовательно, проводимости. При этом время жизни носителей в базе должно быть малым, но для приемлемой однородности распределения концентрации плазмы необходимо, чтобы выполнялось соотношение $W(D\tau)^2 \lesssim 1$, где τ — время жизни носителей в базе. Для управления СВЧ-сигналами большой мощности используются высоковольтные pin -диоды с широкой базой, работающие в осн. на дрейфовых процессах.

Следует отметить, что форма импульса тока через диод и форма импульса СВЧ-мощности в модуляторе могут не совпадать, поскольку проводимость диода существенно зависит от целого ряда нелинейных эффектов, возникающих при большой плотности тока и большой концентрации плазмы. Напр., в области больших плотностей тока рост проводимости диода с ростом тока и, следовательно, ослабление СВЧ-мощности насыщаются из-за падения коэф. инжекции переходов, уменьшения подвижности носителей из-за электронно-дырочного рассеяния и увеличения темпа их рекомбинации из-за оже-процессов. С др. стороны, при переключении диода из прямого смещения на обратное при относительно небольших плотностях тока ослабление СВЧ-мощности начинает уменьшаться практически сразу, хотя постоянный обратный ток протекает довольно долго. Это связано с уменьшением проводимости областей, прилегающих к $p-n$ -переходам, из-за выведения носителей во внеш. цепь.

При прямом смещении и высокой концентрации плазмы в базе сопротивление диода можно считать чисто активным независимо от величины СВЧ-сигнала, но при малой либо нулевой концентрации приходится учитывать, что при непрерывном воздействии СВЧ-сигнала у $p-n$ -переходов возникает избыточная концентрация неравновесных носителей, осциллирующая около некой постоянной составляющей. Поведение этой составляющей аналогично поведению избыточных носителей, инжектированных в базу при прямом смещении. Это означает, что избыточная концентрация распространяется путём диффузии либо биполярного дрейфа на всю базу, повышая её проводимость; поэтому при достаточной мощности СВЧ-сигнала проводимость диода увеличивается даже без воздействия управляющего смещения.

Диапазон параметров совр. pin -диодов, предназначенных для управления СВЧ-мощностью, очень широк. Сравнительно маломощные диоды с макс. мощностью рассеяния < 1 Вт имеют времена переключения в наносекундном диапазоне. Мощные диоды (рассеиваемая мощность ~ 10 Вт) коммутруют импульсную СВЧ-мощность (~ 10 кВт) с временами переключения в микросекундном диапазоне. Осн. материалами для этих приборов являются кремний, германий и арсенид гал-