

определяемым шириной стрипа. В двумерных стриповых П. д. стрипы нанесены с обеих сторон П. д., во взаимно перпендикулярных направлениях. Стриповые П. д. применяются в качестве т. н. вершинных детекторов для выделения случаев рождения и распада короткоживущих ( $\tau = 10^{-12} - 10^{-13}$  с) т. н. очарованных и прелестных частиц и определения их времён жизни и др. характеристик (см. *Комбинированные системы детекторов, Элементарные частицы*). Дальнейшее развитие привело к созданию т. н. пиксельных детекторов с размером ячейки (пикселя)  $30 \times 30$  мкм на основе *pn*-структуры. Для сокращения каналов электроники разработана полупроводниковая дрейфовая камера на основе *pn-p*-структуры (рис. 7). Электрич. поле возрастает с номером стрипа, а крайняя левая полоска служит анодом. На стрипы подаётся отрицат. потенциал  $-V$  по отношению к ср. плоскости, так что электроны стягиваются к ней и движутся к аноду. Дырки же будут собираться на электроды вблизи трека частицы. Координата определяется по времени дрейфа электронов от места их возникновения до анода. Координатное разрешение полупроводниковой дрейфовой камеры составляет  $10 \div 20$  мкм.

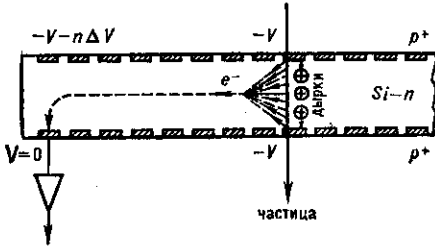


Рис. 7. Дрейфовая камера.

П. д. с лавинным усилением заряда имеют внутр. усиление до  $10^3 - 10^4$  и обладают лучшими временными характеристиками, чем ПЗС-детекторы. Перспективны координатные П. д. на основе лавинно-пролётных диодов с отрицательной обратной связью.

Радиационная стойкость П. д. зависит от вида, интенсивности и энергии излучения. П. д. могут устойчиво работать без ухудшения характеристик при облучении  $\gamma$ -квантами дозой до  $10^6$  рад. На неск. порядков более чувствительны П. д. к облучению тяжёлыми заряж. частицами, а также медленными нейтронами. Ухудшение энергетич. разрешения возникает при потоке протонов (с энергией 5—10 МэВ) порядка  $10^9$  см $^{-2}$ , быстрых нейтронов —  $10^{12}$  см $^{-2}$ , электронов (с энергией 2—5 МэВ) —  $10^{13}$  см $^{-2}$ .

Лит.: Semiconductor detectors, ed. by G. Bertolini, A. Coche, Amst., 1968; Vertex detectors, ed. by F. Villa, N. Y., 1988; Акимов Ю. К., Калинин А. И., Кушнярук В. Ф., Полупроводниковые детекторы в экспериментальной физике, М., 1989; Клайнхехт К., Детекторы корпускулярных излучений, пер. с нем., М., 1990. Г. А. Сокол.

**ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ДИОД** — см. Диоды твердотельные.

**ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ЛАЗЕР** — лазер на основе полупроводниковой активной среды. В отличие от лазеров др. типов, в П. л. используются квантовые переходы между разрешёнными энергетич. зонами, а не дискретными уровнями энергии (см. Полупроводники). Лазерный эффект в П. л. связан в осн. с межзонной люминесценцией (излучает рекомбинацией созданных внеш. воздействием избыточных электронов и дырок; рис. 1). Поэтому длину волны  $\lambda$  лазерного излучения можно выразить через ширину запрещённой зоны  $E_g$ :

$$\lambda = hc/E_g, \quad (1)$$

где  $h$  — постоянная Планка,  $c$  — скорость света. П. л. перекрывают спектральный диапазон от  $\lambda \approx 0,3$  мкм до  $\lambda \approx 45$  мкм (рис. 2).

В полупроводниковой активной среде может достигаться очень большой показатель оптич. усиления (до  $10^4$  см $^{-1}$ ), благодаря чему размеры П. л. исключительно малы, напр. длина резонатора может составлять неск. мкм, типично — 200—300 мкм. Помимо компактности, особенностями П. л. являются малая инерционность ( $\sim 10^{-9}$  с), высокий кд (10—50%), возможность плавной спектральной перестройки, большой выбор веществ для генерации в широком спектральном диапазоне. К достоинствам П. л. следует также отнести совместимость П. л. с полупроводниковыми приборами др. типов и возможность монолитной интеграции, возможность электронного управления режимом генерации и параметрами излучения — длиной волны, степенью когерентности, числом спектральных мод и т. п., возможность ВЧ-модуляции излучения путём модуляции тока накачки, низковольтность ( $< 1 - 3$  В) электропитания, а также наибольшую среди лазеров др. типов долговечность (до  $10^6$  ч).

П. л. включает в себя активный элемент из полупроводникового монокристалла, чаще всего в форме бруска («чипа»). Собственно активная область элемента обычно составляет лишь его малую часть, и её объём, напр. в современном, т. н. полосковом, инжекционном лазере, оказывается в пределах  $10^{-11} - 10^{-10}$  см $^3$ . Оптич. резонатор П. л. образован либо торцевыми зеркальными гранями активного элемента (изготавливаемого обычно путём раскалывания пластин по плоскостям спайности кристалла), либо внеш. отражателями и сложными устройствами с периодич. структурами обратной связи (брюгговскими отражателями и структурами распределённой обратной связи).

Накачка. Важнейшим способом накачки в П. л. является инжекция избыточных носителей заряда через *p-n*-переход, *гетеропереход* или др. нелинейный электрич. контакт. На рис. 3 показан инжекц. лазер с активной полоской, вытянутой вдоль оси оптич. резонатора перпендикулярно двум плоскостями торцам лазера. Из-за сравнительно малых размеров излучающего пятна на торце инжекц. лазера испускаемое излучение сильно дифрагирует при выходе во внеш. среду и его направленность оказывается невысокой (угол расходимости лазерного пучка составляет 20—40° и обычно заметно различается во взаимно ортогональных плоскостях).

Др. способами накачки служат электрич. пробой в сильном поле (напр., в т. н. стримерных лазерах), освещение (П. л. с оптич. накачкой) и бомбардировка быстрыми электронами (П. л. с электронной или электронной накачкой).

П. л. с накачкой электрич. пробоем содержит активный элемент в форме чипа-резонатора с контактами для подведения высоковольтного напряжения. В стримерном П. л. используется пробой при стримерном разряде в однородном полупроводниковом образце высокого сопротивления. Напряжение в этом П. л. подводится в виде коротких импульсов, а излучающее пятно быстро перемещается вслед за головкой (стримером) электрич. разряда.

При использовании оптич. или электронно-лучевой накачки активная область располагается в приповерхностном слое полупроводникового образца, и толщина этой области зависит от глубины проникновения энергии накачки. В зависимости от взаимного расположения пучка накачки и лазерного луча используют как

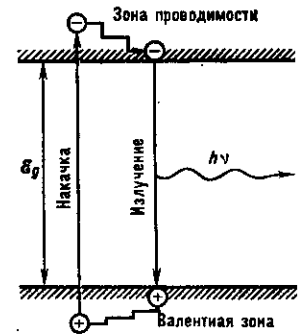


Рис. 1. Межзонный оптический переход в полупроводниках при накачке квантами с энергией, большей  $h\nu$ .