

## ● КАК ЭТО УСТРОЕНО



Лазер, появившийся лет сорок назад как некий таинственный, экзотический лабораторный прибор, сегодня стал настолько привычным инструментом, что его, в виде лазерной указки, сделанной на основе полупроводникового лазера, можно купить даже в ларьках, торгующих разной мелочевкой — игральными картами, брелоками для ключей, газетами и гороскопами на текущий год. Но, несмотря на столь сомнительное соседство, лазер остается результатом глубокого осмысления теории строения вещества и продуктом высоких технологий.

Полупроводниковый лазер придумали в 1962-м независимо и одновременно несколько американских исследователей (Р. Холл, М. И. Нейтен, Т. Квист и др.), хотя теоретическое обоснование его работы дал Н. Г. Басов с сотрудниками еще в 1958 году. Наиболее распространенным полупроводниковым материалом долгое время оставался арсенид галлия GaAs. Но в последнее время все чаще делают лазеры на гетероструктурах — тонких слоях различных по составу полупроводников. Огромный вклад в их создание внесли работы академика Ж. И. Алферова и его сотрудников (см. «Наука и жизнь» № 4, 2001 г.).

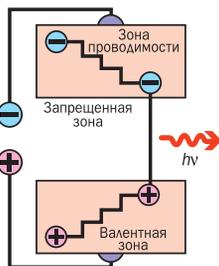
Посмотрим, как работает активное вещество полупроводникового лазера.

*Устройство лазерной указки. Источником питания (1) служат три соединенные последовательно миниатюрные батарейки с ЭДС 1,2 вольта каждая. Электронная схема (2) с кнопкой включения смонтирована в середине корпуса и подключена к лазерной головке (3). Лазерное излучение имеет длину волны от 630 до 680 нанометров (нм) и мощность менее одного милливатта. Линза (4) фокусирует его в тонкий луч.*



## Э Э А С А Д І А В О Е А С Е А

Электроны в твердом теле занимают широкие энергетические полосы, состоящие из мно-



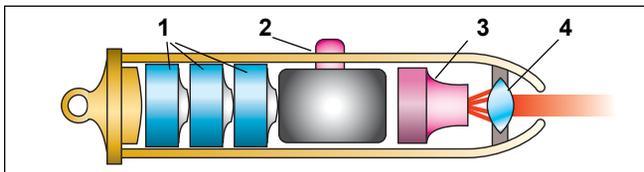
*Активная полупроводниковая среда имеет зону проводимости с избыточным количеством свободных электронов и валентную зону, где недостающие электроны заменены дырками. При рекомбинации электронов с дырками возникает когерентное излучение.*

жества непрерывно расположенных уровней. Нижняя полоса, называемая валентной зоной, отделена от верхней — зоны проводимости — так называемой запрещенной зоной, в которой энергетические уровни отсутствуют. В полупроводнике электронов проводимости мало, подвижность их ограниче-

на, но под действием теплового движения отдельные электроны могут перескакивать из валентной зоны в зону проводимости, оставляя пустое место — дырку. И если электрон с энергией  $E_3$  самостоятельно (спонтанно) возвращается обратно в зону проводимости, происходит его рекомбинация с дыркой, имеющей энергию  $E_1$ . При этом происходит излучение из запрещенной зоны фотона частотой  $\nu = (E_3 - E_1)/h$ . Поскольку ширина запрещенной зоны невелика, полупроводниковый лазер излучает в сравнительно узком интервале частот. А применение различных полупроводниковых материалов позволяет получать излучение в диапазоне от ближнего ультрафиолета ( $\lambda = 300$  нм) до инфракрасного света длиной волны более 40 мкм (1 мкм = 1000 нм).

Активный элемент полупроводникового лазера представляет собой брусок монокристалла объемом несколько десятков кубических миллиметров, а его излучающая часть — полосу длиной от 100 до 300 микрон. Из-за чрезвычайно малой длины излучателя лазерный луч сильно расходит — на угол до 40°.

Накачку полупроводникового лазера чаще всего осуще-





Лазерную указку в качестве детали прибора для измерения скорости использовали учащиеся кружка технического творчества им. А. С. Пустыгина школы № 853 (Москва, Зеленоград). На выставку «ЭКСПО — НАУКА 2003» (см. статью на стр. 2) они привезли самодельный велотренажер. В его конструкции применены полупроводниковый лазер из лазерной указки, фотодатчик и диск с отверстиями. Луч лазера, проходя через отверстия вращающегося диска, попадает на фотодатчик, с которого на дисплей поступают импульсы тока. По частоте следования импульсов судят о скорости, развешиваемой велотренажером.

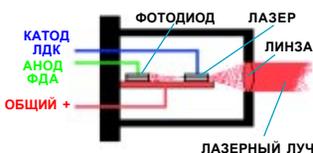
Педали велотренажера крутит одна из его разработчиков — ученица 8 класса школы № 853 Елизавета Бальби.

свеляют постоянным электрическим током напряжением не более 3 вольт (при этом до 50% его энергии превращается в излучение); резонатором обычно служат зеркальные грани кристалла полупроводника (их не полируют, а получают, раскалывая монокристалл).

Миниатюрные размеры полупроводниковых лазеров, долговечность (до 100 тысяч часов безотказной работы) и довольно высокая мощность излучения (1—3 мВт) делают их незаменимыми в устройствах оптической записи и считывания информации, системах оптоволоконной связи, геодезической аппаратуре и других областях техники. Но только лазерная указка дает возможность любому взять в руки это удивительное устройство — полупроводниковый лазер.

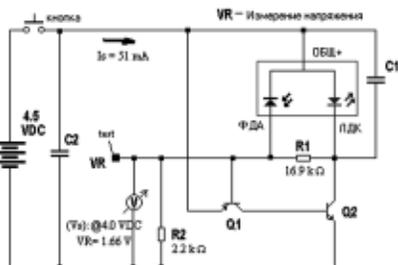
В лазерной указке нередко имеются два полупроводниковых диода: сам лазер и светодиод. Они смонтированы в единый блок с тремя выводами — от катода лазерного диода, анода светодиода и общий. Фотодиод создает отрицательную обратную связь в цепи питания лазера, поддерживая постоянную интенсивность его

излучения. Связь эта осуществляется оптически: лазерный луч освещает фотодиод, который вырабатывает ток смещения, управляющий транзистором в цепи питания лазера. Если интенсивность луча возрастает, устройство уменьшает силу тока, проходящего через лазер, если падает — увеличивает ее.



Лазерная головка. В ней, как правило, кроме самого полупроводникового лазера имеется еще и фотодиод, который вырабатывает сигнал отрицательной обратной связи и стабилизирует интенсивность излучения.

На выходе луча стоит линза, компенсирующая его расходимость, поэтому на расстоянии 10—15 метров раз-



Одна из возможных схем лазерной указки. Она была приведена на сайте <http://zps-electronics.com/>.

мер светового пятна оказывается порядка сантиметра.

Лазерные указки могут пригодиться не только лекторам и докладчикам. Их используют для демонстрации опытов по интерференции и дифракции света, применяют в самодельных охранных устройствах и линиях оптической связи... Или просто играют с кошкой, которая азартно ловит световой зайчик. Но обязательно нужно помнить, что это все-таки не игрушка. Лазерный луч ни в коем случае нельзя направлять в глаза — можно сильно испортить зрение.