

(рис. 3). При этом слой между призмой и волноводом имеет показатель преломления  $n_2 < n_m^*$ . Подбирая соответствующий угол падения вводного луча  $\theta_3$  на основании призмы и выполнив условие  $n_3 \sin \theta_3 = n_m^*$ , можно добиться его фазового согласования с одной из волноводных мод. Осуществляя таким способом туннельную связь на нек-ром участке волновода, вводят в него большую часть энергии падающей волны. Т. к. с накоплением световой энергии в возбуждаемой поверхностной волне усиливается её переизлучение обратно в призму, то существует оптимальная длина свя-

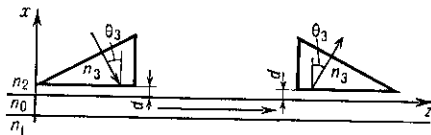


Рис. 3. Туннельный (призмный) ввод и вывод излучения из микроволновода.

зи, отвечающая наиб. эффективному туннельному вводу излучения и зависящая от расстояния  $d$  между призмой и волноводом. Туннельный вывод осуществляется обычно при слабой связи, т. е. слабым проникновении поля поверхностной волны в выводную призму. Эти условия обеспечиваются при таком удалении

призмы от оптич. волновода, что  $\exp(-2kd\sqrt{n_m^{*2} - n_2^2}) \ll 1$ . Поддерживая слабую связь на участке, во много раз превышающем  $\lambda$  и практически достаточном для полного излучения поверхностной волны из волновода, получают на выходе из призмы широкий световой пучок с малой дифракционной расходимостью. Этот вывод излучения из волновода наз. также п р и з м н ы м.

При дифракционном вводе и выводе излучения из оптич. микроволновода используются фазовые дифракц. решётки на поверхности волновода или внутри его, к-рые или создаются периодич. модуляцией показателя преломления в волноводной плёнке или представляют собой участки волновода с гофрированной поверхностью или подложкой. Задавая период дифракц. решётки  $\Lambda$  и подбирая угол падения возбуждающей волны, добиваются её связи с волноводной модой и осуществляют эфф. дифракц. вывод излучения из волновода (или ввод). При прохождении гофрированного участка волна  $\psi(z)\exp[i(\omega t - n^*kx)]$  распадается на синусоидальной границе в суперпозицию плоских волн, имеющих проекции волноводных векторов на ось  $x$ , равные  $k(n^* + mN)$ , где  $m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ , а  $N = \lambda/\Lambda$ . При рассмотрении процессов излучения на слабогофрированном участке волновода можно пренебречь волнами с  $|m| > 1$ . В зависимости от величины проекции волнового вектора дифракц. волны на ось  $x$  существуют разл. варианты излучения из волновода (рис. 4). Если проекция волнового вектора такова, что  $|n^* - N| < n_2$ , то излучение происходит одновременно вверх и в низ. среду, а если  $n_1 > |n^* - N| > n_2$ , излучение происходит только вниз — в подложку, причём угол распространения дифрагированной волны в среде с  $n_1$  определяется выражением  $n_1 \cos \varphi_m = n_m^* - N$ .

Рис. 4. Дифракционный (решётчатый) вывод излучения из микроволновода.

**Интегрально-оптические элементы.** Частотные фильтры, модуляторы света, направленные ответвители, дефлекторы и т.п. позволяют осуществлять разл. действия над распространяющимися в волноводе волнами: их канализацию, модуляцию и отклонение, излучение в пространство, генерацию (см. Гетеролазер) и т. п. Действия эти основаны на резонансом взаимным преобразованием волноводных мод в волноводе с пери-

одически промодулированной оптич. толщиной (т. е. при наличии фазовой дифракц. решётки) или в системе двух (и более) параллельно и близко расположенных (т. е. туннельно связанных) регулярных волноводов. Плавное изменение параметры оптич. связи вдоль волновода (расстояние  $d$  или глубину модуляции на гофрированном участке), можно существенно изменить распределение интенсивности в выходящем из волновода пучке.

Широко используемые в И. о. волноводные решётчатые структуры могут осуществлять не только дифракц. ввод и вывод излучения, но и преобразование мод, выполнять функции отражателей, частотных фильтров и т. п.

Если в гофрированном многомодовом волноводе для двух мод с номерами  $m$  и  $m_1$  на периоде решётки укладывается целое число  $M$  полупериодов биений, т. е. выполняется условие  $n_m^* - n_{m_1}^* = M\lambda/\Lambda$ , то между этими модами возникает сфазированная связь, приводящая к интенсивной взаимной перекачке мощности излучения одной моды в другую. Т. е. участок такого волновода может служить преобразователем волноводных мод.

Волноводные решётчатые структуры используются также в качестве отражателей. Если поверхностная оп-

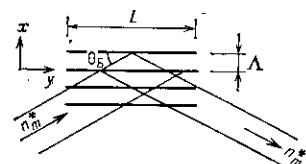


Рис. 5. Брэгговское отражение волны от периодической структуры.

тич. волна падает на участок гофрированного волновода под брэгговским углом к её штрихам (см. Брэгга — Вульфа условие), так что выполняется условие  $\sin \theta_B = \lambda/2\Lambda n^*$ , то указанная решётка отражает падающую волну под углом  $\theta_B$  (рис. 5), если длина её  $L \gg \Lambda^2/2\lambda$ . В случае нормального падения на решётку, когда  $\theta_B = \pi/2$ , брэгговское отражение происходит при условии, что период гофра  $\Lambda$  равен целому числу волноводных полуволн:  $\Lambda = M\lambda/2n^*$ . Т. о., для решётки с определёнными параметрами  $(L, \Lambda)$  брэгговское отражение происходит лишь для определ. длин волн (частот), т. е. имеет избират. характер. Ширина полосы частот  $\Delta\omega$ , в пределах к-рой наблюдается резонансное брэгговское отражение, характеризуется выражением:  $\Delta\omega \sim 2\Delta h c / \lambda n^*$ , где  $\Delta h$  — амплитуда гофра. Гофрированная периодическая структура может служить оптич. частотным фильтром с центром на брэгговских частотах, относит. полоса пропускания к-рого пропорц. отношению  $(\Lambda/L)$ . Совр. технология позволяет получать планарные частотные фильтры с полосой пропускания менее  $0,01$  нм.

**Активные элементы И. о.** Модуляторы, переключатели, сканеры используются

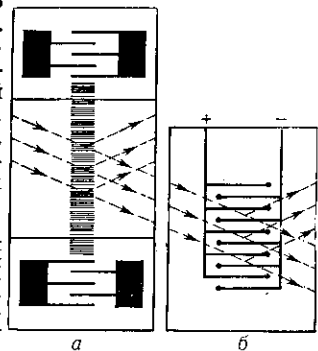


Рис. 6. Брэгговская дифракция поверхностной световой волны в плоскости волновода на решётке, возбуждаемой акустической волной (а) или электрическим полем, в системе встречных электродов (б).

для управления параметрами лазерной волноводной моды (её амплитудой, фазой, поляризацией) и для её пространственного разделения (переключения) — дискретного или непрерывного. Принцип работы этих активных устройств основан на изменении показателя преломления материала микроволновода под действием электр. или магн. поля или упругой деформации. Наиб. распространение в И. о. получили электрооп-