

тич. и акустооптич. устройства управления светом, в основу к-рых положена брэгговская дифракция на фазовых решётках, индуцируемых электрич. полем или акустич. поверхностными волнами (рис. 6).

Встречно-штыревая структура электродов, изготовленная на поверхности волновода, обладающего электрооптич. свойствами (см. *Поккельса эффект*), индуцирует фазовую решётку вида $\bar{n}(x, z) = n_1 + \Delta n \zeta(x) \cos(2\pi x/\Lambda)$, где Λ — период наведённой решётки, Δn — макс. изменение показателя преломления, $\zeta(x)$ — ф-ция распределения изменения индуцированного показателя преломления по глубине. Действие электрич. поля E на волновод длиной L приводит к сдвигу фазы на $\Delta\varphi = k_m \Delta n_m L$ у проходящей волноводной моды и модуляции её амплитуды пропорц. E (здесь Δn_m — амплитуда изменения эфф. показателя преломления $\Delta n_m \sim \sim n_m^3 E/2$, r — электрооптич. коэф.). Глубина модуляции излучения, прошедшего в первый максимум при брэгговской дифракции, зависит от фазового сдвига $\Delta\varphi$, наведённого электрич. полем, пропорц. $\sin^2(\Delta\varphi/2)$.

В акустооптич. модуляторах дифракция оптич. поверхностных волн осуществляется на фазовой решётке, создаваемой акустич. поверхностными волнами, возбуждаемыми перем. напряжением, приложенным к встречно-штыревому преобразователю. Широка полоса частот Δf , в пределах к-рой эффективно возбуждаются акустич. волны, обратно пропорц. длине встречно-штыревого преобразователя. Меняя частоту акустич. волн в пределах, ещё допускающих брэгговское отражение (от f_1 до f_2), можно менять угол отклонения светового луча в пределах $\Delta\theta_B = \lambda_m/v_a(f_2 - f_1)$, где v_a — скорость перемещения периодич. неоднородностей показателя преломления, возбуждаемых акустич. волной. Этот принцип положен в основу создания широкополосных акустооптич. дефлекторов. Вследствие *Доплера эффекта* частота света, дифрагируемого на акустич. решётке, смещается на величину, равную или кратную частоте акустич. волн. Это явление применяется для частотной модуляции света. Канальные волноводы используются в разл. функциональных узлах И. о., применяемых в качестве оконечных устройств волоконно-оптич. линий связи. Широко распространены управляемые направленные ответвители и модуляторы типа интерферометра Маха — Цендера (см. *Интерферометр Рождественского*).

Оптич. направленный ответвитель формируется из двух идентичных канальных волноводов, туннельно связанных, т. е. расположенных достаточно близко друг к другу, так что световая энергия перекачивается из одного в другой (рис. 7). Длина связи L , на к-рой осуществляется полная перекачка, определяется как $L = 2\pi/\kappa$, где

$$\kappa = \frac{2\pi}{\lambda} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \psi_1(y, z) \Delta n(y, z) \psi_2(y, z) dy dz -$$

коэф. связи, зависящий от степени перекрытия полей связанных мод ψ_1 и ψ_2 с профилем волноводов Δn . Обычно, когда волноводы идентичны, фазовый сдвиг $\Delta\varphi = 0$. Однако, если к волноводам из электрооптич. материала приложить напряжение V , индуцирующее фазовую расстройку, то это напряжение будет менять распределение световых потоков, распространяющихся в связанных волноводах. Так осуществляется амплитудная модуляция света. Активные устройства на связанных волноводах могут использоваться также в качестве оптич. переключателей.

Принцип действия электрооптич. модулятора типа интерферометра Маха — Цендера (рис. 8) состоит в следующем. Распространяющиеся по двум идентичным плечам интерферометра моды в зависимости от величины прикладываемого к электродам напряжения V могут интерферировать в месте соединения волноводов в фазе или в противофазе. В первом случае в месте сое-

динения будет возбуждаться распространяющаяся к выходу модулятора осн. мода, в другом случае — четвёртая мода второго порядка, к-рая будет излучаться из волноводов в области их соединения. Относит. изменение интенсивности излучения на выходе интерферометрич. модулятора определяется соотношением

$$\frac{I}{I_0} = \cos^2 \left(\frac{\Delta\varphi_0 + \Delta\varphi}{2} \right),$$

где $\Delta\varphi_0$ — разность фаз интерферирующих волн в отсутствие напряжения на электродах, $\Delta\varphi$ — индуцируемая электрич. полем фазовая расстройка. Спец.

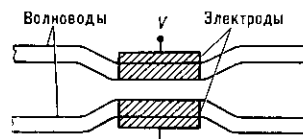


Рис. 7. Направленный ответвитель на основе туннельно связанных канальных волноводов.

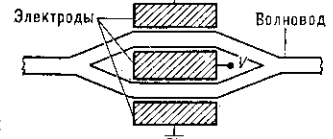


Рис. 8. Электрооптический модулятор типа интерферометра Маха — Цендера.

структура электродов даёт возможность эффективно модулировать свет независимо от его поляризации, а режим бегущей волны позволяет расширить частотную полосу модулятора до $\geq 2 \cdot 10^{10}$ Гц. Это устройство используют для получения быстродействующих аналого-цифровых и цифроаналоговых преобразователей, датчиков эл.-магн. поля, темп-ры и т. д. При сравнении объёмных и интегрально-оптич. модуляторов и дефлекторов оказывается, что потребляемая мощность, пропорц. объёму активной среды, у планарных на два-три порядка меньше, чем у объёмных.

Нелинейные оптические явления в оптич. микроволноводах возникают при больших значениях напряжённости электрич. поля даже при сравнительно небольшой мощности возбуждения. Т. к. толщина волноводной плёнки очень мала ($\sim \lambda$), то плотность световой энергии в оптич. микроволноводе достигает $10^6 - 10^8$ Вт/см² по всей длине взаимодействия даже от сравнительно маломощных газовых лазеров ($\sim 10^{-1} - 10^{-2}$ Вт). В оптич. волноводах возможен фазовый синхронизм взаимодействующих мод также за счёт волноводной дисперсии. В объёмной оптике необходимым для эфф. нелинейного взаимодействия фазовый синхронизм волн разл. частот достигается лишь за счёт двойного лучепреломления в кристаллах. В оптич. микроволноводах синхронизм может быть обеспечен для разных мод одной поляризации. Это позволяет использовать для нелинейных взаимодействий изотропные среды, обладающие большой нелинейной восприимчивостью. Кроме фазового синхронизма необходимым условием эфф. нелинейного преобразования в оптич. микроволноводах является достаточная величина интеграла перекрытия полей взаимодействующих мод. Для нелинейных преобразований широко применяются титан-диффузные волноводы в ниобате лития, в к-рых наблюдались эфф. удвоение частоты, параметрич. генерация, суммарные гармоники и т. д.

Широко используется в И. о. генерация второй гармоники (см. *Взаимодействие световых волн*) для перевода ИК-излучения гетеролазера в видимое излучение. Процесс генерации второй гармоники можно представить как связь двух волноводных мод равных частот ω и значений волновых векторов $k_{2\omega}$ с одной из мод частоты 2ω и значением волнового вектора $k_{2\omega}$. Условия синхронизма имеют вид:

$$\omega + \omega = 2\omega, \quad k_{\omega} + k_{\omega} = k_{2\omega}$$

или с учётом того, что $\lambda_{2\omega} = \lambda_{\omega}/2$,

$$\frac{2\pi n_{\omega}}{\lambda_{\omega}} + \frac{2\pi n_{\omega}}{\lambda_{\omega}} = \frac{2 \cdot 2\pi n_{2\omega}}{\lambda_{\omega}},$$