

Искусств. М. с. создают путём ориентированного послойного наращивания двух полупроводниковых или металлических материалов. Наличие дополнительного одномерного периодич. потенциала существенно меняет энергетич. спектр электронов, что проявляется в оптич., кинетич. и магн. свойствах (см. *Сверхрешётка*).

Лит.: Х а ч а т у р я н А. Г., Теория фазовых превращений и структура твердых растворов, М., 1974; Ч у и с т о в К. В., Старение металлических сплавов, К., 1985. В. А. Ф и к е л ь. **МОДУЛЯТОРЫ СВЕТА** — устройства для управления параметрами световых потоков (амплитудой, частотой, фазой, поляризацией). Простейшие амплитудные М. с. — механич. прерыватели светового луча, в качестве к-рых используют вращающиеся и колеблющиеся заслонки, призмы, зеркала, а также вращающиеся *растры*. Однако быстроедействие и надёжность таких М. с. невелики. Наиб. широкое практич. применение получили М. с. на основе физ. эффектов, при к-рых внеш. поля меняют оптич. характеристики среды, таких, как электрооптические *Поккельса эффект* и *Керра эффект*, магнитооптический *Фарадея эффект*, *фотоупругость* и сдвиг края полосы поглощения (*Келдыша — Франца эффект*).

Фазовые М. с. на основе эффекта Поккельса используют линейное изменение показателя преломления нецентросимметричных кристаллов в зависимости от величины электрич. поля E , в к-ром находится кристалл:

$$n = n_0 + \frac{1}{2} n_2^3 r E,$$

где n_0 — показатель преломления кристалла в отсутствие внеш. поля, r — электрооптич. коэф., зависящий от свойств и ориентации кристалла, направления поля E и поляризации проходящего света.

Световой пучок, прошедший путь l в кристалле, помещённом в электрич. поле E , приобретает фазовый сдвиг:

$$\varphi = 2\pi n l / \lambda = \varphi_0 + \pi n_2^3 r E l / \lambda,$$

где λ — длина волны света в вакууме, φ_0 — начальный сдвиг фаз, приобретённый светом при прохождении кристалла в отсутствие поля. Наличие фазового сдвига, вызванного внеш. полем (второй член справа), и означает фазовую модуляцию света. Линейный электрооптич. эффект имеет очень малую инверсионность и позволяет изменять фазу света за время $\sim 10^{-12}$ с. Обычно электрич. поле E прикладывается к кристаллу либо в направлении распространения света (продольный эффект), либо в перпендикулярном направлении (поперечный эффект). При продольном эффекте провозведение $E l$ равно внеш. напряжению U , приложенному к кристаллу. При поперечном эффекте $U = E h$, где h — размер кристаллич. элемента вдоль силовых линий электрич. поля. Величину фазовой задержки можно записать в виде: $\varphi = \varphi_0 + \pi U / U_{\lambda/2}$, где $U_{\lambda/2} = h \lambda / l n_0^3 r$ — т. н. полуволновое напряжение, т. е.

то напряжение, к-рое нужно приложить к фазовому М. с. для получения сдвига фаз на угол π . При использовании продольного эффекта ($h = l$) $U_{\lambda/2}$ зависит только от λ и свойств кристаллич. элемента и составляет величину \sim неск. кВ; а при поперечном эффекте зависит и от геометрии элемента (h/l).

Полуволновое напряжение $U_{\lambda/2}$ используется как характеристика М. с. на низких частотах модуляции, где непосредственно измеряемой величиной является напряжение. На высоких частотах сдвиг фазы φ удобно определять как ф-цию мощности P управляющего сигнала: $\varphi = \varphi_0 + \sqrt{qP}$. Здесь q — величина, характеризующая качество М. с., зависящее от кристалла, его геометрии и от отношения длины кристалла к площади его поперечного сечения и не зависящее от того, используется продольный или поперечный электрооптич. эффект. Предел увеличению величины q кладут дифракц. эффекты. Для получения фазовой задержки в 1 ради-

ан необходима управляющая мощность $P = q^{-1}$. При использовании оптич. световода эта величина может быть существенно уменьшена, т. к. свет по световоду распространяется без дифракц. потерь на большие расстояния.

На высоких частотах следует учитывать изменение фазы модулирующего сигнала за время прохождения светом кристалла. В этом случае

$$\varphi = \frac{\pi}{U_{\lambda/2}} \int_0^l E_0 \cos(\Omega t - k_M z) dz,$$

где E_0 , Ω и k_M — амплитуда, частота и волновое число модулирующего электрич. поля, z — направление распространения света в кристалле. При этом длина модулирующего элемента не должна превышать величины $l = \pi \Omega^{-1} (v^{-1} - v_M^{-1})^{-1}$, где v — скорость света в кристалле, а v_M — фазовая скорость управляющего сигнала.

В качестве материалов для фазовых модуляторов света обычно используют кристаллы *ADP* ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$), *KDP* (KH_2PO_4), *DKDP* (KD_2PO_4), ниобат лития (LiNbO_3), тавталат лития (LiTaO_3). Полуволновые напряжения модуляторов меняются от 100 В для длинных и тонких кристаллов в поперечном поле до 5 кВ в М. с., использующих широкие кристаллы в продольном поле.

Амплитудные М. с. с поляризационной ячейкой отличаются от фазовых М. с. наличием двух скрещённых поляризаторов (рис. 1, а), между к-рыми находится кристалл. Рис. 1, б посвящает ориентацию векторов пропускания c_1 и c_2 поляризаторов по отношению к векторам поляризации d_1 и d_2 среды.

Световой поток, поляризованный входным поляризатором вдоль вектора c_1 , распадается в анизотропном элементе на волны, поляризованные вдоль d_1 и d_2 . На выходе элемента эти волны приобретают фазовые задержки:

$\varphi_1 = \varphi_{01} + \pi n_2^3 r_1 E l / \lambda$ и $\varphi_2 = \varphi_{02} + \pi n_2^3 r_2 E l / \lambda$ и оказываются сдвинутыми по фазе на $\Gamma = \varphi_1 - \varphi_2$. Выходной поляризатор пропускает только компоненты волн, параллельные c_2 . Интенсивность света на выходе поляризац. ячейки равна $I = I_0 \sin^2(\Gamma/2)$. Разность фаз Γ содержит компоненту Γ_0 за счёт естеств. анизотропии кристалла $\Gamma_0 = \varphi_{01} - \varphi_{02} = 2\pi l (n_1 - n_2) / \lambda$ и переменную Γ_{\sim} , наведенную электрич. полем, $\Gamma_{\sim} = \pi U / U_{\lambda/2}$, где $U_{\lambda/2} = h \lambda / l (n_2^3 r_2 - n_1^3 r_1)$.

Зависимость интенсивности света от фазовой задержки Γ_{\sim} (или напряжения $U / U_{\lambda/2}$), называемая амплитудной характеристикой М. с., имеет линейный и нелинейный участки (рис. 2). Режим работы М. с. (смещение рабочей точки) определяется величиной Γ_0 . При $\Gamma_0 = 0$ М. с. работает на квадратичном участке характеристики (рис. 2, а), при $\Gamma_0 = \pi/2$ — на линейном участке (рис. 2, б). Из рисунка видно, что переменная составляющая света I_{\sim} во втором случае значительно больше, чем в первом. При разработке практич. схем М. с. учитывают, что величина Γ_0 должна быть меньше π , иначе небольшие изменения показателей преломления или длины кристалла, обусловленные, напр., изменением темп-ры, смещают рабочую точку по амплитудной характеристике в нелинейную область и изменяют (уменьшают) переменную составляющую света на выходе. Аналогичным образом на амплитудную характеристику влияет и расходимость светового пучка,

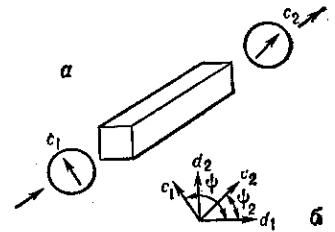


Рис. 1. Амплитудный модулятор света с поляризационной ячейкой.