

УСТРОЙСТВО ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СОСТОЯНИЕМ ПОЛЯРИЗАЦИИ ИЗЛУЧЕНИЯ СРЕДНЕГО ИК ДИАПАЗОНА

Б.Л. Давыдов, Ю.П. Свирко

Предложен способ построения электрически управляемых поляризаторов для излучения среднего ИК диапазона с улучшенными тепловыми характеристиками. Исследованы характеристики одного из устройств этого типа — коммутатора излучения непрерывного CO₂ лазера.

Ограниченный выбор двулучепреломляющих кристаллов в среднем ИК диапазоне создает определенные трудности в изготовлении кристаллических поляризаторов типа пластинок $\lambda/4$ и $\lambda/2$. Традиционно используемые здесь кристаллы CdS обладают заметным поглощением и устройства на их основе требуют дополнительной температурной стабилизации уже при относительно низких уровнях интенсивности лазерного излучения. Альтернативой является использование явления полного внутреннего отражения (ПВО) — конечный фазовый сдвиг между ортогональными s- и p-компонентами отраженной волны приводит к изменению ее поляризации относительно падающей. Широкое распространение приборы такого типа (наиболее известная схема — ромб Френеля) получили в видимом и ближнем ИК диапазонах, где есть широкий выбор слабопоглощающих и относительно дешевых стекол. Однако оптические материалы среднего ИК диапазона (KPC, GaAs, CdTe, Ge и др.) характеризуются, как правило, высоким значением показателя преломления, и поэтому приборы типа ромба Френеля на их основе требуют использования больших углов падения ($> 65^\circ$), т.е. имеют увеличенные геометрические размеры. Выход состоит в использовании нескольких полных внутренних отражений, что позволяет, как показано в настоящей работе, улучшить тепловые характеристики и упростить конструкцию устройств для управления состоянием поляризации излучения.

Относительный фазовый сдвиг между s- и p-поляризационными компонентами отраженного при ПВО излучения $\delta = 2 \operatorname{arctg}[(\sin^2\theta - 1/n^2)^{1/2} \cos\theta / \sin^2\theta] / 1$, где θ — угол падения на границу раздела, n — показатель преломления. Наиболее перспективным представляется использование предельно достижимых значений фазового сдвига δ_{\max} , при которых $d\delta/d\theta = 0$, т.е. минимальны требования к угловым юстировкам. Существенно, что относительная малость углов падения при этом ($\operatorname{tg}\theta_{\max} = \sqrt{2}/\sqrt{n^2 - 1}$) обеспечивает минимальные габариты устройства. Требуемый фазовый сдвиг дает использование нескольких отражений. Так, для GaAs ($n = 3,275 / 2$), здесь и далее коэффициенты преломления даны для длины волны $\lambda = 10,6$ мкм) $\theta_{\max} = 24,4^\circ$ и четыре отражения дают близкую к $\lambda/4$ фазовую задержку: $\delta_{\max} = 4 \cdot 112,11^\circ - 360^\circ = 88,44^\circ$ (здесь и далее азимут поляризации падающего излучения составляет 45° относительно поверхности кристалла). Аналогично для Ge ($n = 4,003 / 2$) восемь отражений при $\theta = 20^\circ$ обеспечивают $\delta = -88,8^\circ$; уже одно отражение для ZnSe ($n = 2,403 / 2$) при $\theta = 33^\circ$ дает $\delta = 89,6^\circ$, но использовать такой элемент неудобно из-за наклонного выхода луча — здесь оптимальна реализация сдвига $\lambda/2$ при двукратном ПВО.

Температурная стабильность поляризационных устройств такого типа определяется только зависимостью от температуры T коэффициента преломления:

$$d\delta/dT = (2/n^3) \sin^2\theta \operatorname{tg}^2\theta (\operatorname{tg}^2\theta - 1/n^2)^{-1} (\sin^2\theta - 1/n^2)^{-1/2} (dn/dT). \quad (1)$$

Из (1), в частности, следует, что использование θ_{\max} , близкого к углу ПВО $\theta_0 = \arcsin(1/n)$, неоптимально. Тем не менее, для четвертьволнового фазовращателя на основе GaAs ($\theta = 24,4^\circ$, четыре отражения) при $dn/dT = 10^{-4} \text{ K}^{-1} / 2$ из (1) имеем $d\delta/dT = 8 \cdot 10^{-3}$ град/К, что соответствует уходу фазы всего на $\pm 0,4^\circ$ при изменении T на $\pm 50^\circ \text{ C}$.

Кристаллы ZnSe, CdTe и GaAs обладают электрооптическими свойствами и два последних широко используются для модуляции излучения CO₂ лазеров. В традиционной (обеспечивающей максимальный электрооптический эффект) геометрии постоянное электрическое поле E направлено вдоль оси [110], а волновой вектор — вдоль оси [110]. Однако для указанных кристаллов возможна и такая геометрия взаимодействия, когда E направлено вдоль нормали [111], а излучение с начальным азимутом поляризации 45° относительно плоскости (111) распространяется в последней в произвольном направлении. Относительный фазовый сдвиг δ_e между s- и p-компонентами здесь в $\sqrt{2}$ раз меньше, чем в оптимальной геометрии $\delta_e = (\sqrt{3}\pi/\lambda)n^2 r_{41} E l / 3$, где r_{41} — электрооптический коэффициент, l — длина взаимодействия. Независимость δ_e от направления распространения излучения позволяет использовать данную геометрию электрооптического взаимодействия для управления поляризационными устройствами, описанными выше.

Экспериментально был исследован коммутатор излучения CO₂ лазера, в котором в качестве электрически управляемого элемента использована призма из GaAs (максимальные размеры 12 × 12 × 35 мм³, апертура входной и выходной просветленных граней 10 × 10 мм², четырехкратное ПВО при $\theta = 24,4^\circ$). Кри-

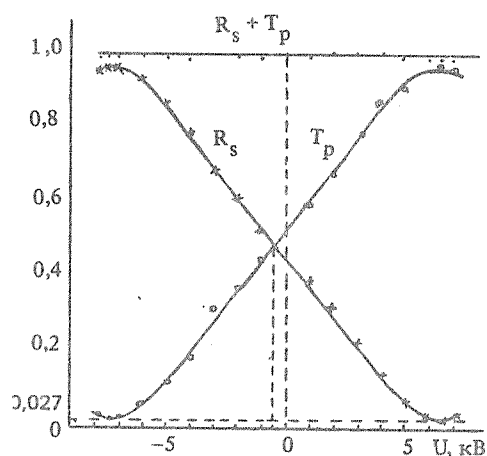


Рис. 1. Зависимость от приложенного напряжения коэффициентов отражения R_s s-компоненты и пропускания T_p p-компоненты электрооптического коммутатора на основе фазового ПВО-элемента из GaAs и интерференционного германиевого анализатора.

сталл обладал удельным сопротивлением $\rho = 2 \cdot 10^8$ Ом·см, коэффициент поглощения при $\lambda = 10,6$ мкм составлял $1,3 \cdot 10^{-2}$ см⁻¹. Анализатором служила интерференционная пластинка германия, установленная под углом Брюстера. Ее коэффициенты отражения s- и пропускания p-поляризационных компонент были не хуже 0,95.

На вход коммутатора подавалось линейно поляризованное излучение непрерывного CO₂ лазера мощностью 10 Вт, диаметр пучка составлял 4,4 мм. Зависимость мощности излучения на выходах коммутатора от прикладываемого напряжения приведена на рис. 1. Точка пересечения кривых смещена на 500 В, что определяется как неточностью реализации сдвига $\lambda/4$ при четырехкратном ПВО, так и отливом величины коэффициента преломления от среднего значения.

Таким образом, устройства, использующие многократное ПВО, могут применяться как для изменения состояния поляризации, так и для модуляции излучения лазеров среднего ИК диапазона. Наиболее перспективным представляется использование управляющих устройств такого типа для целей внутрирезонаторной модуляции, когда из-за повышенных плотностей мощности излучения применение традиционных схем ограничено.

ЛИТЕРАТУРА

1. Борн В., Вольф Э. Основы оптики. М., Наука, 1973.
2. Блистанов А. А. и др. Акустические кристаллы. М., Наука, 1982.
3. Сонин А. С., Василевская А. С. Электрооптические кристаллы. М., Атомиздат, 1971.