

Смещение полосы пропускания ИПФ брюстеровского типа

На двупреломляющую кристаллическую пластинку толщиной ℓ падает волна, нормаль к которой составляет с плоскостью пластинки угол σ_B (угол Брюстера). Нормали обыкновенной и необыкновенной волн в пластине составят с нормалью к её поверхностям углы σ_o и σ_θ , определяемые показателями преломления обыкновенной волны n_o и необыкновенной волны n_θ . Разность фаз этих лучей на выходе из пластины равна

$$\varphi = \frac{2\pi\ell}{\lambda} \frac{(a^2 - b^2) \sin \sigma_B \cos \theta \sin 2\psi}{2c^2} + \frac{1}{c} \sqrt{1 - a^2 \sin^2 \sigma_B \sin^2 \theta - \frac{a^2 b^2}{c^2} \sin^2 \sigma_B \sin^2 \theta - \frac{\sqrt{1 - b^2 \sin^2 \sigma_B}}{b}}, \quad (1)$$

где $a = \frac{1}{n_e}$, $b = \frac{1}{n_o}$, $c = \sqrt{a^2 \sin^2 \psi + b^2 \cos^2 \psi}$, θ – угол между оптической осью и нормалью к поверхности пластины, ψ – угол между оптической осью и нормалью к поверхности пластины, n_o и n_e – обыкновенный и необыкновенный показатели преломления.

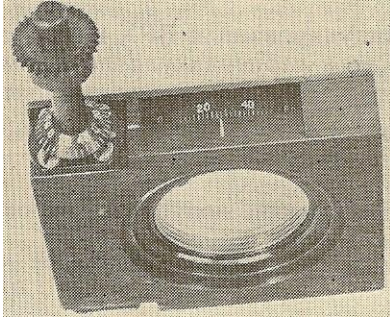


Рис.1. ИПФ брюстеровского типа.

Так как спектральное положение максимумов пропускания, как известно, определяется условием $\mu\ell = N\lambda$, где N – волновая разность хода, то поворот пластинки вокруг нормали к её поверхности, приводящий к изменению угла θ , повлечёт за собой изменение длины волны максимумов пропускания.

При изменении угла θ на величину $\Delta\theta$ (считая λ постоянной) изменение ВРХ может быть записано в виде

$$\Delta' N = \frac{\ell}{\lambda} \frac{\partial \mu}{\partial \theta} \Delta\theta = N A_\theta \Delta\theta, \quad (2)$$

где $A_\theta = \frac{1}{\mu} \frac{\partial \mu}{\partial \theta}$.

В то же время, если угол θ остаётся неизменным, но изменяется длина волны λ на величину $d\lambda$, то изменение ВРХ равно:

$$\Delta'' N = -\frac{N d\lambda}{B_\lambda \lambda}, \quad (3)$$

где $B_\lambda = \left(1 - \frac{\lambda}{\mu} \frac{\partial \mu}{\partial \lambda}\right)^{-1}$.

При спектральном смещении максимумов пропускания фазовой пластины, вызванном изменением угла θ , выполняется условие

$$\Delta' N + \Delta'' N = 0, \quad (4)$$

так как для данного участка спектра пропускания фазовой пластины ВРХ остаётся неизменной.

Комбинируя (1), (2) и (3), получим

$$d\lambda = A_\theta B_\lambda \Delta\theta \lambda. \quad (5)$$

Следует отметить, что смещение спектра пропускания фазовой пластины $d\lambda$ не зависит от величины ВРХ N , а, следовательно, от толщины пластинки, а зависит только от констант A_θ и B_λ кристаллического материала и длины волны λ .

Коэффициент перестройки полосы пропускания ИПФ брюстеровского типа, содержащего несколько фазовых пластинок, толщины которых относятся как целые числа, определяется выражением

$$d\lambda/d\theta = A_\theta B_\lambda \lambda. \quad (6)$$

Перестройка спектрального положения полосы пропускания ИПФ осуществляется синхронным вращением кристаллических пластин вокруг нормали к их поверхностям. Увеличение или уменьшение угла θ приводит к перемещению главного максимума пропускания фильтра в коротковолновую или длинноволновую область спектра.

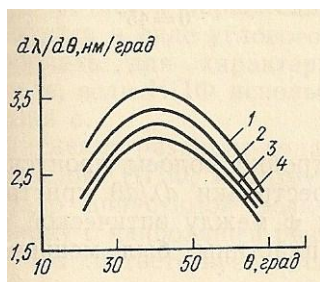


Рис.2. Зависимость коэффициента перестройки полосы пропускания фильтра от угла θ :

- 1 – кристаллический кварц, $\lambda = 643$ нм;
- 2 – кристаллический кварц, $\lambda = 589$ нм;
- 3 – исландский шпат, $\lambda = 643$ нм;
- 4 – исландский шпат, $\lambda = 589$ нм.

Максимальный коэффициент перестройки имеет место при $\theta \approx 41^\circ$ (независимо от длины волны и материала фазовой пластины).

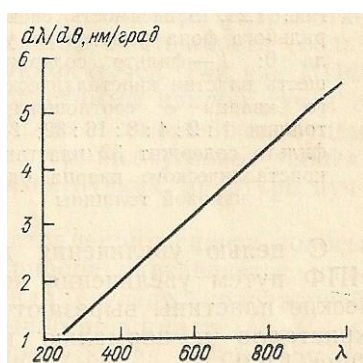


Рис.3. Зависимость коэффициента перестройки полосы пропускания фильтра от длины волны (кристаллический кварц, $\theta = 45^\circ$, $\psi = 90^\circ$).

При необходимости перестройки полосы пропускания ИПФ в широкой спектральной области (сотни нанометров) угол θ требуется изменять на большую величину. Например, полный угол разворота пластин кристаллического кварца (кварцевый ИПФ), необходимый для перестройки в диапазоне $\lambda = 560 \dots 700$ нм, составляет $\sim 42^\circ$ ($\pm 21^\circ$ от $\theta = 45^\circ$).

Минимальный спектральный фон соответствует положению пластин по отношению к плоскости поляризации излучения $\theta = 45^\circ$. Перемещение полосы, как в коротковолновую, так и длинноволновую области спектра относительно λ_0 (при $\theta = 45^\circ$) приводит к симметричному в первом приближении возрастанию уровня фона.

При малых углах разворота пластин θ от положения $\theta = 45^\circ$ амплитуды двух ортогонально поляризованных компонент в кристалле отличаются несущественно и пропорциональны $\sin \theta$ и $\cos \theta$.

Изменение же угла θ больше, чем на 3° , уже приводит к увеличению фона. Изменение угла θ в пределах $\pm 21^\circ$ около значения 45° приводит к увеличению фона от 1,2 до 17 раз в зависимости от типа фильтра. Чем меньше фон при $\theta = 45^\circ$, тем больше увеличение фона при изменении θ (рис.4).

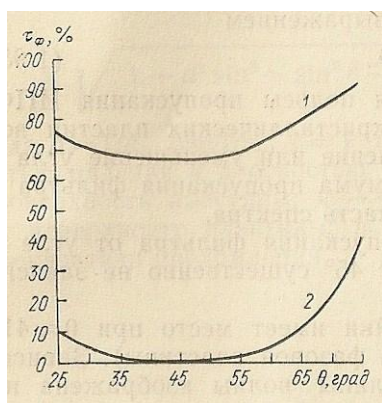


Рис.4. Зависимость спектрального фона от угла θ :

- 1 – фильтр содержит шесть пластин кристаллического кварца с соотношением толщин 1:2:4:8:16:32;
- 2 – фильтр содержит 32 пластины кристаллического кварца одинаковой толщины.

Таким образом, при заданных требованиях к уровню фона величина диапазона перестройки ИПФ будет ограничена.

С целью увеличения диапазона перестройки полосы пропускания ИПФ путём увеличения коэффициента перестройки $d\lambda/d\theta$ кристаллические пластины вырезают так, чтобы угол ψ между оптической осью кристалла и нормалью к поверхности пластины был меньше 90° (рис.5).

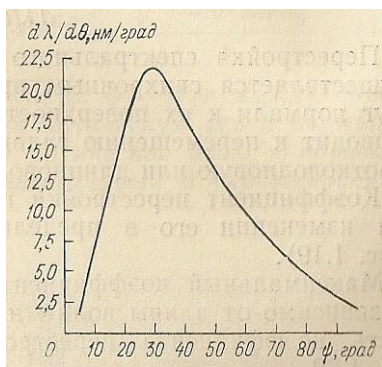


Рис.5. Зависимость коэффициента перестройки полосы пропускания фильтра от угла ψ (кристаллический кварц, $\lambda = 589$ нм, $\theta = 45^\circ$).

Для примера проведён расчёт спектра пропускания фильтра с комбинацией двупреломляющих кварцевых и дополнительных поляризующих стеклянных пластин. Толщина самой тонкой кварцевой пластины 1,092 мм. Пластины вырезаны так, что угол $\psi = 20^\circ$. Форма спектра пропускания фильтра при перестройке в области свободной дисперсии (~ 140 нм) немного меняется, но максимальная

амплитуда побочных максимумов практически остаётся постоянной ($\sim 20\%$).

Для уменьшения полосы пропускания в состав фильтра включают, кроме пластин кристаллического кварца, пластины исландского шпата. При этом для каждого среза кварцевых пластин необходимо определять расчётным путём соответствующий срез для шпатовых пластин, причём, как правило, $\psi_{\text{шп}} < \psi_{\text{кв}}$. Для примера рассмотрим ИПФ Брюстеровского типа, имеющего следующие спектральные характеристики: полуширина полосы пропускания 0,13 нм, область свободной дисперсии 33 нм, область перестройки полосы пропускания 607...677 нм (угол θ при этом изменяется в диапазоне 35...55 град). Фильтр имеет следующие конструктивные параметры: четыре пластины кристаллического кварца с соотношением толщин 1:2:4:8 ($l_{1\text{кв}} = 1,680$ мм, $\psi_{\text{кв}} = 90^\circ$) и четыре шпатовые пластины с тем же соотношением толщин ($l_{1\text{шп}} = 1,400$ мм, $\psi_{\text{шп}} = 87,8^\circ$).