

ЛИНЕЙНЫЙ ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ В КРИСТАЛЛЕ α - HfO_3

Г. Ф. Добржанский, Л. А. Кулевский, Ю. Н. Поливанов,
А. М. Прохоров, В. В. Смирнов

В настоящее время для нужд квантовой электроники большое внимание уделяется поискам материалов, обладающих подходящими нелинейными оптическими свойствами для использования их в качестве активных сред в генераторах гармоник, перестраиваемых параметрических генераторах, электрооптических модуляторах и т.п. С этой точки зрения новый нелинейный кристалл α - HfO_3 представляет большой интерес, так как он обладает высокими оптическими качествами в области прозрачности (0,4 + 1,3 мк) при значительных размерах, большими нелинейными константами ($d_{14}^{2\omega}(\text{HfO}_3) = (1,5 \pm 0,5)d_{31}^{2\omega}(\text{LiNbO}_3)$ для $\lambda = 1,065$ мк) и является стойким к оптическому излучению высокой плотности мощности^{1,2}.

Оптические, упругооптические и нелинейные свойства кристаллов α - HfO_3 недавно исследовались рядом авторов^{1,2,3}. Целью настоящей работы является исследование линейного электрооптического эффекта этого кристалла.

Кристалл α - HfO_3 принадлежит к классу 222 ромбической симметрии; следовательно, матрица электрооптических коэффициентов имеет три отличных от нуля и линейно независимых элемента: Γ_{41} , Γ_{52} , Γ_{63} .

Для случая, когда электрическое поле \vec{E} направлено вдоль кристаллографической оси X_1 (обозначения

кристаллографических осей производится по стандартам IRE⁴), уравнение эллипсоида показателей преломления (оптической индикатрисы) кристалла α - HfO_3 в кристаллографических осях принимает вид

$$a_1^2 x_1^2 + a_2^2 x_2^2 + a_3^2 x_3^2 + 2r_{41} E_1 x_2 x_3 = 1, \quad (1)$$

где $a_i = 1/n_i$ ($i = 1, 2, 3$), n_i - показатель преломления вдоль оси X_i .

После приведения уравнения (1) к каноническому виду получаем

$$a_1^2 x_1'^2 + (a_2^2 + \frac{r_{41}^2 E_1^2}{a_2^2 - a_3^2}) x_2'^2 + (a_3^2 - \frac{r_{41}^2 E_1^2}{a_2^2 - a_3^2}) x_3'^2 = 1. \quad (2)$$

Из уравнений (1) и (2) видим, что ось X_1' совпадает с осью X_1 , а оси X_2' и X_3' повернуты относительно X_2 и X_3 вокруг X_1 на угол α_1 , определяемый выражением

$$\text{tg} 2\alpha_1 = \frac{2r_{41} E_1}{a_2^2 - a_3^2}. \quad (3)$$

Кроме того, изменение показателей преломления вдоль главных осей X_2' и X_3' квадратично по полю E_1 .

В полярной системе координат ($x_2 = \rho \sin \varphi$, $x_3 = \rho \cos \varphi$) сечение оптической индикатрисы (1) в плоскости ($X_2 X_3$) имеет вид

$$a_2^2 \rho^2 \sin^2 \varphi + a_3^2 \rho^2 \cos^2 \varphi + 2r_{41} E_1 \rho^2 \sin \varphi \cos \varphi = 1. \quad (4)$$

Отсюда находим изменение показателя преломления под действием внешнего электрического поля E_1

$$\Delta \rho = \frac{1}{2} \rho_0^3 r_{41} E_1 \sin 2\varphi, \quad (5)$$

где $\rho_0 = (a_2^2 \sin^2 \varphi + a_3^2 \cos^2 \varphi)^{-1/2}$ - показатель

преломления в отсутствие поля. Аналогичные результаты можно получить и для случаев, когда внешнее электрическое поле направлено вдоль оси X_2 , либо вдоль оси X_3 . Из выражения (5) следует, что существуют направления поляризации и распространения света в кристалле, для которых изменение показателя преломления линейно по полю.

Схема экспериментальной установки, на которой проводились измерения электрооптических коэффициентов, приведена на рис. 1а. Согласно (5), для получения максимального изменения двулучепреломления под действием поля E_1 была выбрана взаимная ориентация кристаллографических осей образца α - HfO_3 , направления распространения и вектора поляризации света, показанная на рис. 1б. Заметим, что призма Глауба 4 служила одновременно поляризатором и анализатором, а свет дважды проходил через образец. Двухкоординатный самописец 9 регистрировал изменение интенсивности света, падающего на приемник 3, в зависимости от величины прикладываемого к кристаллу поля E_1 . Эта зависимость имеет вид:

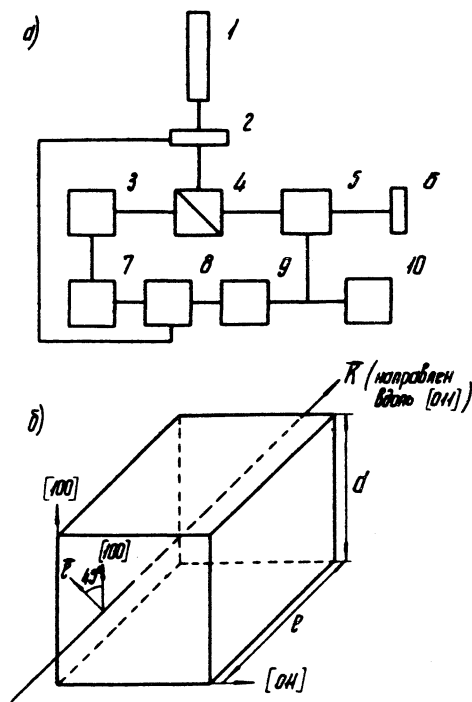
$$J = J_0 \cdot \sin^2 \left[\frac{2\pi d}{\lambda} (n_1 - \rho_0 + \Delta\rho) \right], \quad (6)$$

где $\Delta\rho$ определяется выражением (5) при $\varphi = 45^\circ$ и λ - длина волны He-Ne-лазера, равная 6328 \AA . Величина r_{41} определялась из измерения величины поля ΔE_1 , при которой функция (6) изменяется на полпериода:

$$r_{41} = \frac{d}{21} \cdot \frac{\lambda}{\rho_0^3} \cdot \frac{1}{\Delta V_1}, \quad (7)$$

где $\Delta V_1 = \Delta E_1 / d$.

Аналогичные выражения легко получаются для коэффициентов r_{52} и r_{63} . Значения главных показате-



Р и с. 1.

а) Принципиальная схема установки для измерения электрооптических коэффициентов.

1 - He - Ne лазер, 2 - модулятор, 3 - приемник излучения, 4 - призма Глана, 5 - исследуемый образец кристалла α - HfO_3 , 6 - диэлектрическое зеркало, 7 - - предусилитель, 8 - синхронный детектор, 9 - двухкоординатный самописец, 10 - высоковольтный источник напряжения.

б) Взаимная ориентация кристаллографических осей образца α - HfO_3 , волнового вектора \vec{k} и вектора поляризации \vec{e} светового пучка.

лей преломления на длине волны 6328 \AA , необходимые при вычислении электрооптических коэффициентов, были взяты из работы¹.

В результате проведенных измерений получены следующие значения электрооптических коэффициентов кристалла $\alpha - \text{HfO}_2$ ($\lambda = 6328 \text{ \AA}$):

$$r_{41} = 7,3 \pm 20\%$$

$$r_{52} = 7,6 \pm 10\%$$

$$r_{63} = 8,8 \pm 10\%$$

в единицах 10^{-10} см/в.

Отметим, что значительные электрооптические коэффициенты делают кристалл $\alpha - \text{HfO}_2$ перспективным материалом при использовании его в устройствах управления оптическим излучением, а также для генерации с одновременной модуляцией второй гармоники, в параметрических генераторах света, перестраиваемых внешним электрическим полем и т.п.

Поступила в редакцию
27 мая 1970 г.

Литература

1. S.K. Kurtz, T.T. Perry, J.G. Bergman, Jr. Appl. Phys. Lett., 12, 186 (1968).
2. S.K. Kurtz, T.T. Perry. J. Appl. Phys., 39, 3798 (1968).
3. D.A. Pinnow, R.W. Dixon. Appl. Phys. Lett., 13, 156 (1968).
4. Standards on piezoelectric crystals. Proc. IRE, 37, 1378 (1949).