



ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

УКРАЇНА

(19) UA

(11) 73511

(13) U

(51) МПК

G01N 21/41 (2006.01)

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: **u 2012 03154**

(22) Дата подання заявки: **19.03.2012**

(24) Дата, з якої є чинними  
права на корисну  
модель: **25.09.2012**

(46) Публікація відомостей  
про видачу патенту: **25.09.2012, Бюл.№ 18**

(72) Винахідник(и):

**Дем'янишин Наталія Михайлівна (UA),  
Мицик Богдан Григорович (UA),  
Андрущак Анатолій Степанович (UA)**

(73) Власник(и):

**ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМ. Г.В.  
КАРПЕНКА НАН УКРАЇНИ,  
вул. Наукова, 5, м. Львів, 79060 (UA),  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
"ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА",  
вул. Ст. Бандери, 12, м. Львів, 79013 (UA)**

## (54) СПОСІБ ВИГОТОВЛЕННЯ ЧУТЛИВОГО ЕЛЕМЕНТА З АНІЗОТРОПНОГО КРИСТАЛІЧНОГО МАТЕРІАЛУ ДЛЯ ЕЛЕКТРООПТИЧНОЇ АБО ФОТОПРУЖНОЇ КОМІРКИ

### (57) Реферат:

Спосіб виготовлення чутливого елемента з анізотропного кристалічного матеріалу для електрооптичної або фотопружної комірки включає дію фізичного поля на кристалічний зразок з одночасним вимірюванням зміни оптичного параметра та визначення ефективних напрямків дії фізичного поля і поширення світла з максимальним значенням індукованого оптичного ефекту за допомогою вказівних поверхонь, з наступним вирізанням із кристалічного зразка чутливого елемента з гранями, ортогональними до знайдених ефективних напрямків. Ефективні напрямки дії фізичного поля та індукованого оптичного ефекту визначають для всіх можливих напрямків дії фізичного поля і поширення світла.

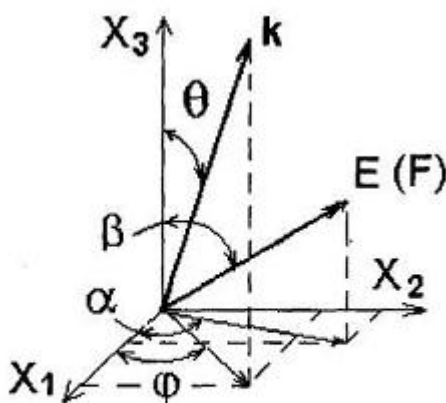


Fig. 1

UA 73511 U



Корисна модель належить до матеріалознавства, а саме до способів знаходження ефективної геометрії кристалічного зразка із анізотропного кристалічного матеріалу для чутливого елемента електрооптичної або фотопружної комірок, що використовуються в приладах та пристроях, які працюють за принципом електрооптичної чи фотопружної модуляції світла.

Відомий спосіб виготовлення чутливого елемента з анізотропного кристалічного матеріалу для електрооптичної або фотопружної комірки, що включає дію фізичного поля на кристалічний зразок з одночасним вимірюванням зміни оптичного параметра та визначення ефективних напрямків дії фізичного поля і поширення світла з максимальним значенням індукованого оптичного ефекту за допомогою вказівних поверхонь, з наступним вирізанням із кристалічного зразка чутливого елемента з гранями, ортогональними до знайдених ефективних напрямків [Andrushchak A.S., Mytsyk B.G., Demyanyshyn N.M., Kaidan M.V., Yurkevych O.V., Dumych S.S., Kityk A.V. and Schranz W. Spatial anisotropy of linear electro-optic effect for crystal materials: II. Indicative surfaces as efficient tool for electro-optic coupling optimization // Optics & Lasers in Engineering.-2009.-V.47, N.1. - P. 24-30].

Але цей спосіб не дозволяє максимально підвищити ефективність електрооптичної та фотопружної модуляції світла чутливим елементом з анізотропного кристалічного матеріалу, оскільки передбачає тільки варіанти, коли напрямки дії поля і поширення світла співпадають або є взаємно перпендикулярними, а не довільні одне відносно одного, та не забезпечує можливості вибирання комбінації напрямків дії фізичного поля і поширення світла, при якій ефект буде найбільшим з усіх можливих.

В основу корисної моделі поставлена задача розробити спосіб виготовлення чутливого елемента з анізотропного кристалічного матеріалу для електрооптичної або фотопружної комірки, в якому нове визначення напрямку поширення світла з максимальною модуляцією оптичного параметра при всіх можливих напрямках дії фізичного поля дало би можливість виготовити комірку з максимальною ефективністю модуляції світла або дозволило зменшити керуючі напруження чи розміри чутливого елемента.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі виготовлення чутливого елемента з анізотропного кристалічного матеріалу для електрооптичної або фотопружної комірки, що включає дію фізичного поля на кристалічний зразок з одночасним вимірюванням зміни оптичного параметра та визначенням ефективних напрямків дії фізичного поля і поширення світла з максимальним значенням індукованого оптичного ефекту за допомогою вказівних поверхонь, з наступним вирізанням із кристалічного зразка чутливого елемента з гранями, ортогональними до знайдених ефективних напрямків, згідно з корисною моделлю, ефективні напрямки дії фізичного поля та індукованого оптичного ефекту визначають для всіх можливих напрямків дії фізичного поля і поширення світла.

Це дозволяє аналізувати величину модуляції індукованих оптичних ефектів в анізотропному кристалічному матеріалі у будь-якому напрямку при інших довільних напрямках дії електричного поля чи одновісного тиску на кристалічний зразок і вибрати ту комбінацію напрямків дії фізичного поля і поширення світла, де ефект буде найбільшим з усіх можливих. Вирізаний ортогонально до цих напрямків чутливий елемент дозволить виготовити комірку з максимальною ефективністю модуляції світла або дозволить зменшити керуючі напруження чи розміри чутливого елемента.

Приклади конкретної реалізації. Продемонструємо реалізацію способу виготовлення чутливого елемента з анізотропного кристалічного матеріалу для електрооптичної або фотопружної комірки, на прикладі анізотропного кристала ніобату літію (НЛ).

Приклад 1. Проведемо вимірювання оптичного параметру при дії на кристалічний зразок електричного поля  $E$  вздовж кристалофізичних осей  $X_1, X_2, X_3$  та інших елементів симетрії, в тих самих і ортогональних напрямках, заповнимо матрицю електрооптичних коефіцієнтів (ЕОК)  $r_{ik}$  [Andrushchak A.S., Mytsyk B.G., Demyanyshyn N.M., Kaidan M.V., Yurkevych O.V., Dumych S.S., Kityk A.V. and Schranz W. Spatial anisotropy of linear electro-optic effect for crystal materials: II. Indicative surfaces as efficient tool for electro-optic coupling optimization // Optics & Lasers in Engineering.-2009. - V.47, N.1. - P. 24-30]. В цих напрямках ефект зміни оптичного параметра для НЛ не є максимальним. Для того, щоб максимально ефективно використати електрооптичну властивість НЛ, необхідно аналізувати просторову зміну оптичного параметра кристала, при дії на нього електричного поля, у всіх можливих напрямках. Запишемо співвідношення для визначення зміни різниці ходу (оптичного параметра) променя світла, що пройшов через кристалічний зразок в будь-якому напрямку:

$$r^o(\theta, \varphi, \beta, \alpha) = r^o_{kt} = r^o_{it} n_i^3 - r^o_{it} n_i^3 - 2(n'_i - n_i) d'_{tk}, \quad (1)$$

де  $g^\circ(\theta, \varphi, \beta, \alpha)$  - значення зміни різниці ходу (величина радіус-вектора, який описує вказівну поверхню) у напрямку  $k$  поширення світлової хвилі, що задається кутами  $\theta, \varphi$ , при дії електричного поля  $E$  в іншому напрямку, заданому кутами  $\beta, \alpha$  (Фіг. 1. Сферичні координати

5

одиничних векторів  $k(\theta, \varphi)$  та  $E(\beta, \alpha)$  в головній кристалофізичній системі координат  $X_1, X_2, X_3$ ;  $i, j$  - одиничні вектори коливань двох світлових хвиль, що поширюються в кристалі ( $j \perp i \perp k$ ),  $n'_{i(j)} = (\alpha^2_{if}/n^2_{i(j)})^{-1/2}$  - просторовий розподіл показника заломлення  $n_{i(j)}$  кристала,  $\alpha_{if}$  - напрямний косинус вектора коливань світлової хвилі,  $g'_{it}$  - просторовий розподіл електрооптичного ефекту на основі матриці електрооптичних коефіцієнтів  $g_{it}$  для кристалів ніобату літію

10

$$g'_{it} = [\alpha_{t2}(\alpha^2_{i2} - \alpha^2_{i1}) - 2\alpha_{i1}\alpha_{i2}\alpha_{t1}]g_{22} + (\alpha^2_{i1}\alpha_{t3} + \alpha^2_{i2}\alpha_{t3})g_{13} + \alpha^2_{i3}\alpha_{t3}g_{33} + 2\alpha_{i3}(\alpha_{i1}\alpha_{t1} + \alpha_{i2}\alpha_{t2})g_{51}, \quad (2)$$

$d'_{ik}$  - просторовий розподіл оберненого п'єзоелектричного ефекту на основі матриці п'єзоелектричних коефіцієнтів  $d_{ik}$  для кристалів ніобату літію

$$d'_{ik} = (\alpha_{t2}(\alpha^2_{k2} - \alpha^2_{k1}) - 2\alpha_{t1}\alpha_{k2}\alpha_{k1})d_{22} + (\alpha_{t3}\alpha^2_{k1} + \alpha_{t3}\alpha^2_{k2})d_{31} + \alpha_{t3}\alpha^2_{k3}d_{33} + \alpha_{k3}(\alpha_{t1}\alpha_{k1} + \alpha_{t2}\alpha_{k2})d_{15}, \quad (3)$$

15

напрямні косинуси  $\alpha_{if}$ , які характеризують довільний напрям поширення світла в кристалі  $i$ , незалежну від цього напрямку, дію електричного поля, і входять в співвідношення (2) і (3), через незалежні сферичні координати виражаються для напрямку світла  $k$ :  $\alpha_{k1} = \sin\theta\cos\varphi$ ,  $\alpha_{k2} = \sin\theta\sin\varphi$ ,  $\alpha_{k3} = \cos\theta$ , для напрямку електричного поля  $E$ :  $\alpha_{t1} = \sin\beta\cos\alpha$ ,  $\alpha_{t2} = \sin\beta\sin\alpha$ ,  $\alpha_{t3} = \cos\beta$ , напрямки  $i, j$  такі, що  $j \perp i \perp k$ .

20

На основі співвідношень (1)-(3) та значень електрооптичних коефіцієнтів  $g_{it}$  лінійного електрооптичного ефекту ( $g_{22}=6,79$ ;  $g_{13}=10,1$ ;  $g_{33}=32,5$ ;  $g_{51}=33,2$ ; в одиницях  $10^{-12}$  Кл/Н≡м/В) і п'єзоелектричних модулів  $d_{ik}$  для ніобату літію ( $d_{22}=20,1$ ;  $d_{31}=-0,57$ ;  $d_{33}=6,9$ ;  $d_{15}=66,6$ , усе в одиницях  $10^{-12}$  Кл/Н≡м/В) та показників заломлення  $n_o=2,2865$ ,  $n_e=2,2034$  [Андрушак А.С., Мицик Б.Г., Дем'янишин Н.М., Кайдан М.В., Юркевич О.В. Заповнення матриць лінійного електрооптичного ефекту в кристалах довільного класу симетрії. Апробація методу на прикладі кристалів ніобату літію // Вісник НУ "Львівська політехніка", серія ЕЛЕКТРОНІКА.-2007, № 592. - С. 148-156] будемо множини вказівних поверхонь індукованої електричним полем зміни різниці ходу  $g^\circ(\theta, \varphi, \beta, \alpha)$  для різних напрямків прикладання електричного поля  $E(\beta, \alpha)$ . При цьому, кут напрямку дії напруження електричного поля на кристал  $\beta$  змінюється від 0 до 360° з кроком 2-5°, а кут  $\alpha$  - від 0 до 180° з кроком 2-5° (для кристалів найнижчого класу симетрії 1), для кристалів вищих класів симетрії - кутовий сектор зменшується. Наприклад, для класу симетрії 3m достатньо кут напрямку дії напруження електричного поля на кристал  $\beta$  змінювати від 0 до 180°, а кут  $\alpha$  - від 0 до 120°. В кутовій області з великими значеннями ЕОЕ кроки  $\beta$  і  $\alpha$  за необхідності можна зменшити. Із множини отриманих вказівних поверхонь вибираємо ту, де спостерігається максимальне значення зміни індукованої електричним полем різниці ходу: це  $g^{o(max)}(\theta, \varphi, \beta, \alpha) = -505 \cdot 10^{-12}$  м/В при  $E(\beta=78^\circ, \alpha=90^\circ)$  Далі за допомогою вказівних поверхонь (ВП) визначаємо напрямок поширення світла  $k(\theta=42^\circ, \varphi=-90^\circ)$ , який забезпечує вказану максимальну величину індукованої зміни різниці ходу. Для випадку, що використовується  $E \perp k(\theta=90^\circ$  - вздовж оптичної осі), величина ЕОЕ різниці ходу  $g^{o_{32}} = -160 \cdot 10^{-12}$  м/В, що більш як втричі менше від максимального значення  $g^{o(max)}(\theta, \varphi, \beta, \alpha)$ , поданого вище. Кристалічний зразок для чутливого елемента вирізають так, що робочі грані зразка ортогональні до визначених ефективних напрямків поширення світла  $k(\theta=42^\circ, \varphi=-90^\circ)$  та дії електричного поля  $E(\beta=78^\circ, \alpha=90^\circ)$  (Фіг. 2. Чутливий елемент з оптимізованого Х-зрізу кристала ніобату літію, для електрооптичної комірки). Отже, виготовлений запропонованим способом чутливий елемент, дозволяє більш ніж втричі збільшити ефективність зміни різниці ходу при дії електричного поля або втричі зменшити керуюче напруження при роботі електрооптичної комірки.

30

35

40

45

50

Аналогічно покажемо, що при дії одновісного тиску  $F$  для певних напрямків поширення світла максимальна індукована різниця ходу для кристалів НЛ в чотири рази більша, ніж відповідна величина для напрямку вздовж оптичної осі, який використовується для чутливих елементів фотопружних комірок.

Приклад 2. Проведемо вимірювання оптичного параметра при дії на кристалічний зразок одновісного тиску  $F$  вздовж кристалофізичних осей  $X_1, X_2, X_3$  чи інших елементів симетрії, в тих

самих, чи ортогональних напрямках, заповнимо матрицю п'єзооптичних коефіцієнтів (ПОК)  $\pi_{im}$ . Але в цих напрямках ефект зміни оптичного параметру для НЛ не є максимальним. Для того, щоб максимально ефективно використати фотопружну властивість НЛ, необхідно аналізувати просторову зміну оптичного параметра кристалу, при дії на нього одновісного тиску, у всіх можливих напрямках. Запишемо співвідношення для визначення зміни різниці ходу (оптичного параметра) променя світла, що пройшов через кристалічний зразок в будь-якому напрямку:

$$\pi^{\circ}(\theta, \varphi, \beta, \alpha) = \pi^{\circ}_{km} = \pi^{\circ}_{jm} n^3_j - \pi^{\circ}_{im} n^3_i - 2(n'_i - n'_j) S'_{km}, \quad (4)$$

де  $\pi^{\circ}(\theta, \varphi, \beta, \alpha)$  - значення зміни різниці ходу (величина радіус-вектора, який описує вказівну поверхню) у напрямку  $k$  поширення світлової хвилі, що задається кутами  $\theta, \varphi$ , при дії одновісного тиску  $F$  в іншому напрямку, заданому кутами  $\beta, \alpha$ ;  $i, j$  - одиничні вектори коливань двох світлових хвиль, що поширюються в кристалі ( $j \perp i \perp k$ ),  $n'_{i(j)} = (\alpha^2_{if} / n^2_{i(j)})^{-1/2}$  - просторовий розподіл показника заломлення  $n_{i(j)}$  кристала,  $\alpha_{if}$  - напрямний косинус вектора коливань світлової хвилі,  $\pi'_{im}$  - просторовий розподіл п'єзооптичного ефекту на основі матриці п'єзооптичних коефіцієнтів  $\pi_{im}$  для кристалів НЛ

$$\begin{aligned} \pi'_{im} = \pi'_{jm} = & \pi_{11}(\alpha^2_{i1}\alpha^2_{m1} + \alpha^2_{i2}\alpha^2_{m2} + \\ & + \alpha_{i1}\alpha_{i2}\alpha_{m1}\alpha_{m2}) + \pi_{12}(\alpha^2_{i2}\alpha^2_{m1} + \alpha^2_{i1}\alpha^2_{m2} - \\ & - \alpha_{i2}\alpha_{m1}\alpha_{m2}) + (\pi_{31} + \pi_{33})(\alpha^2_{m1} + \alpha^2_{m2} + \\ & + \alpha^2_{m3}) + \pi_{14}[(\alpha^2_{i1} - \alpha^2_{i2})\alpha^2_{m2} + \\ & + \alpha_{i1}\alpha_{i2}\alpha_{m1}]\alpha_{m3} + \pi_{41}[\alpha^2_{i2}(\alpha^2_{m1} - \alpha^2_{m2}) + \\ & + \alpha_{m1}\alpha_{m2}\alpha_{i1}]\alpha_{i3} + \pi_{44}(\alpha_{i1}\alpha_{m1} + \\ & + \alpha_{i2}\alpha_{m2})\alpha_{i3}\alpha_{m3}, \end{aligned} \quad (5)$$

$S'_{km}$  - просторовий розподіл пружної податливості на основі матриці коефіцієнтів пружної податливості  $S_{km}$  для кристалів НЛ

$$\begin{aligned} S'_{km} = & S_{11}(\alpha^2_{k1}\alpha^2_{m1} + \alpha^2_{k2}\alpha^2_{m2} + \\ & + \alpha_{k1}\alpha_{k2}\alpha_{m1}\alpha_{m2}) + S_{12}(\alpha^2_{k2}\alpha^2_{m1} + \\ & + \alpha^2_{k1}\alpha^2_{m2} - \alpha_{k1}\alpha_{k2}\alpha_{m1}\alpha_{m2}) + S_{13}[(\alpha^2_{k1} - \\ & - \alpha^2_{k2})\alpha^2_{m3} + \alpha^2_{k3}(\alpha^2_{m1} - \alpha^2_{m2})] + S_{33}\alpha^2_{k3} + \\ & + \alpha^2_{m3} + S_{14}[\alpha^2_{k2}\alpha^2_{k3}(\alpha^2_{m1} - \alpha^2_{m2}) + \\ & + 2\alpha_{k1}\alpha_{m1}(\alpha_{k2}\alpha_{m3} + \alpha_{k3}\alpha_{m2})] + \\ & + S_{44}(\alpha_{k1}\alpha_{m1} + \alpha_{k2}\alpha_{m2})\alpha_{k3}\alpha_{m3}, \end{aligned} \quad (6)$$

$\alpha_{kq}, \alpha_{kh}$  - напрямні косинуси для вектора деформації кристала, що співпадає з напрямком поширення світла  $k$ ,  $\alpha_{md}, \alpha_{mf}$  - напрямні косинуси для вектора дії одновісного тиску (описують створене тиском механічне напруження в кристалічному зразку).

Напрямні косинуси, що входять в (5) і (6) через незалежні сферичні координати (Фіг. 1) виражаються наступним чином: для напрямку світла  $k$ :  $\alpha_{k1} = \sin\theta\cos\varphi$ ,  $\alpha_{k2} = \sin\theta\sin\varphi$ ,  $\alpha_{k3} = \cos\theta$ ; для напрямку дії одновісного тиску  $F$ :  $\alpha_{m1} = \sin\beta\cos\alpha$ ,  $\alpha_{m2} = \sin\beta\sin\alpha$ ,  $\alpha_{m3} = \cos\beta$ , напрямки  $i, j$  такі, що  $j \perp i \perp k$ .

На основі співвідношень (4)-(6) та значень п'єзооптичних коефіцієнтів  $\pi_{11} = -0,38$ ;  $\pi_{12} = 0,09$ ;  $\pi_{13} = 0,8$ ;  $\pi_{31} = 0,5$ ;  $\pi_{33} = 0,2$ ;  $\pi_{14} = -0,81$ ;  $\pi_{41} = 0,88$ ;  $\pi_{44} = 2,25$  (в  $1 \text{ Бр} = 10^{-12} \text{ м}^2/\text{Н}$ ) [Bogdan G. Mytsyk, Anatoliy S. Andrushchak, Nataliya M. Demyanyshyn, Yaroslav P. Kost', Andriy V. Kityk, Pietro Mandracci, and Wilfried Schranz. Piezo-optic coefficients of MgO-doped LiNbO3 crystals.// Applied Optics. 2009. Vol. 48, Issue 10. P. 1904-1911] і коефіцієнтів пружної податливості  $S_{11} = 5,77$ ;  $S_{12} = -1,17$ ;  $S_{13} = -1,32$ ;  $S_{33} = 4,92$ ;  $S_{14} = -0,85$ ;  $S_{44} = 16,6$  (в  $10^{-12} \text{ м}^2/\text{Н}$ ) [Акустические кристаллы. Справочник под ред. М.П. Шаскольской. - М.: Наука, 1982, 455 с] для НЛ, будемо множини ВП індукованої одновісним тиском зміни різниці ходу  $\pi^{\circ}(\theta, \varphi, \beta, \alpha)$  для різних напрямків дії одновісного тиску  $F$  ( $\beta, \alpha$ ). При цьому кут напрямку дії одновісного тиску на кристал  $\beta$  змінюється від  $0$  до  $360^{\circ}$  з кроком  $2-5^{\circ}$ , а кут  $\alpha$  - від  $0$  до  $180^{\circ}$  з кроком  $2-5^{\circ}$  (для кристалів найнижчого класу симетрії 1), для кристалів вищих класів симетрії - кутовий сектор зменшується. Наприклад, для класу симетрії 3m достатньо кут напрямку дії одновісного тиску на кристал  $\beta$  змінювати від  $0$  до  $180^{\circ}$ , а кут  $\alpha$  - від  $0$  до  $120^{\circ}$ . В кутовій області з великими значеннями п'єзооптичного ефекту (ПОЕ) кроки  $\beta$  і  $\alpha$  за необхідності можна зменшити. Із множини отриманих вказівних поверхонь

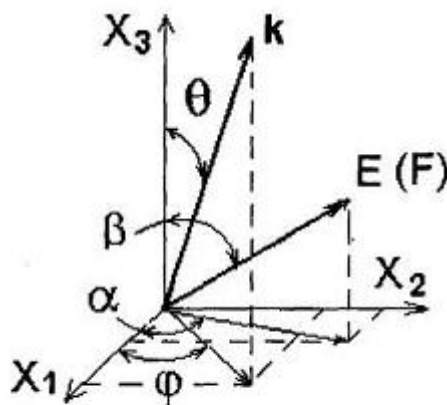
вибираємо ту, де спостерігається максимальне значення зміни індукованої одновісним тиском різниці ходу: це  $\pi^{o(max)}(\theta, \varphi, \beta, \alpha) = -23,3 \cdot 10^{-12}$  Бр при  $F(\beta=54^\circ, \alpha=90^\circ)$ . Далі за допомогою ВП визначаємо напрямок поширення світла  $k(\theta=42^\circ, \varphi=-90^\circ)$ , який забезпечує вказану максимальну величину індукованої зміни різниці ходу. Для напрямку, що використовується  $F \perp k$  ( $\theta=90^\circ$ -вдovж оптичної осі), величина ПОЕ різниці ходу  $\pi_{32}^o = 5,6 \cdot 10^{-12}$  Бр, що в чотири рази менше від максимального значення  $\pi^{o(max)}(\theta, \varphi, \beta, \alpha)$ , поданого вище.

Отже, чутливий елемент з ніобату літію, робочі грані якого вирізані ортогонально до ефективних напрямків поширення світла  $k(\theta=42^\circ, (\varphi=-90^\circ))$  та дії одновісного тиску  $F(\beta=54^\circ, \alpha=90^\circ)$  (Фіг. 3 Чутливий елемент з оптимізованого Х-зрізу кристала ніобату літію, для фотопружної комірки) дозволяє в чотири рази збільшити ефективність зміни різниці ходу при дії одновісного тиску або вчетверо зменшити керуюче навантаження при роботі фотопружної комірки.

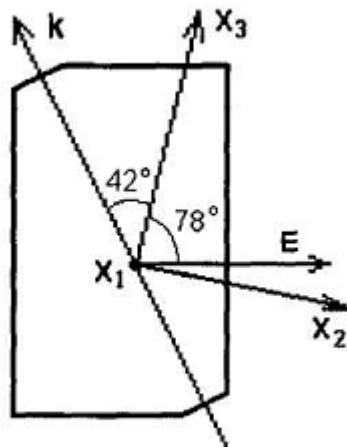
Таким чином, запропонований спосіб виготовлення чутливого елемента з анізотропного кристалічного матеріалу для електрооптичної або фотопружної комірки дозволяє підвищити ефективність електрооптичної та фотопружної модуляції світла, тобто отримати більшу зміну оптичного параметра при дії тих самих чи менших значеннях керуючих напружень на кристал або суттєво зменшити розміри фотопружної комірки, не зменшуючи величину модуляції світла. Спосіб може бути використаний для виготовлення чутливих елементів з існуючих чи нових перспективних в практичному застосуванні електрооптичних та фотопружних кристалічних матеріалів.

#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

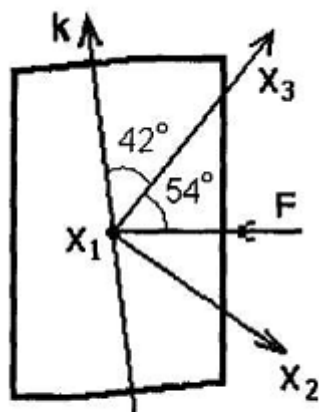
Спосіб виготовлення чутливого елемента з анізотропного кристалічного матеріалу для електрооптичної або фотопружної комірки, що включає дію фізичного поля на кристалічний зразок з одночасним вимірюванням зміни оптичного параметра та визначення ефективних напрямків дії фізичного поля і поширення світла з максимальним значенням індукованого оптичного ефекту за допомогою вказівних поверхонь, з наступним вирізанням із кристалічного зразка чутливого елемента з гранями, ортогональними до знайдених ефективних напрямків, який **відрізняється** тим, що ефективні напрямки дії фізичного поля та індукованого оптичного ефекту визначають для всіх можливих напрямків дії фізичного поля і поширення світла.



Фіг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3

---

Комп'ютерна верстка А. Крижанівський

---

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

---

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601