

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВЕКТОРНОГО СИНХРОННОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СВЕТОВЫХ ВОЛН В АНИЗОТРОПНЫХ КРИСТАЛЛАХ

Г. В. Кривошеков, В. И. Строганов, В. И. Самарин
и В. М. Тарасов

Исследованы особенности векторного синхронного взаимодействия световых волн в кристаллах типа KDP, ADP. Определена дисперсия угла векторного синхронизма. Экспериментально изучено взаимодействие падающего на кристалл излучения с рассеянным в кристалле.

Исследование векторного взаимодействия световых волн, когда волновые вектора не коллинеарны между собой [1-6], представляет определенный интерес в связи с практическими приложениями. Так, например, в [3] векторное взаимодействие использовано для измерения длитель-

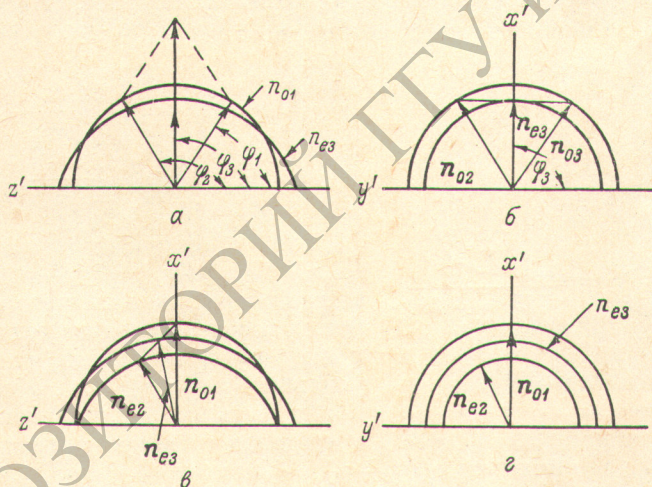


Рис. 1. Сечения поверхностей показателей преломления кристаллов KDP и ADP плоскостями падения двух волн с волновыми векторами k_1 и k_2 (векторами рефракции n_1 и n_2).

n_3 — вектор рефракции излучения с частотой $\omega_3 = \omega_1 + \omega_2$ ($\omega_1 = \omega_2$). φ_1, φ_2 и φ_3 — углы между кристаллографической осью (Z' или y') и векторами рефракции n_1, n_2 и n_3 (углы положительны при отсчете против часовой стрелки). а, б — взаимодействие типа $oo \rightarrow e; e \rightarrow oe \rightarrow o$; в — $oe \rightarrow o$ (нет синхронизма). Индексы о, е соответствуют обыкновенному и необыкновенному лучам. а — плоскость лучей с векторами n_1 и n_2 расположена относительно, x', y' под углом 45° .

ности сверхкоротких импульсов света, а в [5] для преобразования изображения из инфракрасной области спектра в видимую.

Ниже приводится описание ряда особенностей, присущих векторному синхронному смещению световых волн в кристаллах KNH_2PO_4 (KDP) и $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ (ADP).

Для двух плоских волн с векторами рефракции $\mathbf{n}_1$ и $\mathbf{n}_2$ и частотами ω_1 и ω_2 (рис. 1) условия векторного синхронизма $\omega_3 \mathbf{n}_3 = \omega_1 \mathbf{n}_1 + \omega_2 \mathbf{n}_2$ могут быть выполнены для разных ориентаций плоскости падения лучей относительно кристаллографических осей кристалла и $oo \rightarrow e$, $oe \rightarrow e$ и типов взаимодействия. Углы векторного синхронизма $(\varphi_2 - \varphi_1)_c$ для кристаллов

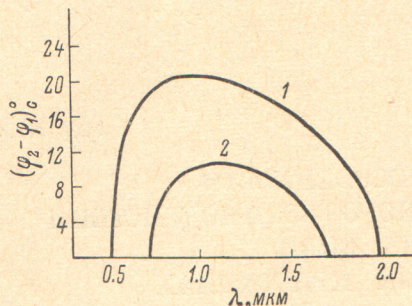


Рис. 2. Дисперсия углов векторного синхронизма для взаимодействия $oo \rightarrow e$ (кривая 1) и $oe \rightarrow e$ (кривая 2) в «нелинейном» кристалле KDP ($\varphi_3 = 90^\circ$).

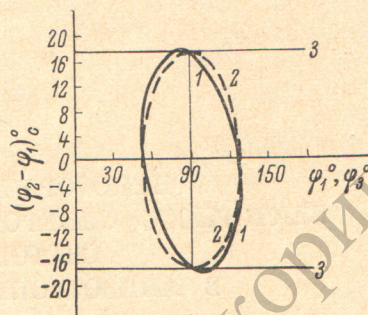


Рис. 3. Зависимость углов векторного синхронизма (ADP, $\lambda = 0.6943$ мкм) от φ_1 (кривая 1) и φ_3 (кривые 2, 3).

1, 2 — плоскость линейного синхронизма, 3 — плоскость x', y' .

KDP (далее полагаем $\omega_1 = \omega_2 = \omega$), рассчитанные по формулам (1) (взаимодействие $oo \rightarrow e$) (рис. 1, а) и (2) (взаимодействие $oe \rightarrow e$) (рис. 1, в), приведены на рис. 2. Значения $(\varphi_2 - \varphi_1)_c$ для ADP совпадают с таковыми для KDP ($oo \rightarrow e$) с точностью не хуже $\pm 1^\circ$ во всей области существования векторного синхронизма (для KDP $\sim 0.514 \div 1.981$ мкм, ADP $\sim 0.520 \div 1.955$ мкм), за исключением участков спектра ($\sim 100 \div 300$ Å) вблизи $(\varphi_2 - \varphi_1)_c = 0$

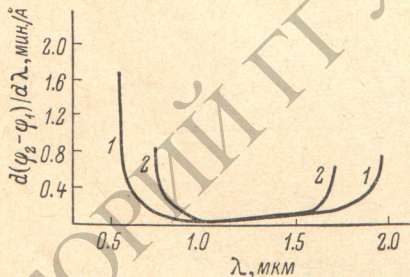


Рис. 4. Зависимость $d(\varphi_2 - \varphi_1)_c / d\lambda$ от λ для кристалла KDP.

1 — взаимодействие $oo \rightarrow e$, 2 — $oe \rightarrow e$.

при $\varphi_3 = 90^\circ$ до минимального $(\varphi_2 - \varphi_1)_c = 0$ при $\varphi_3 = \theta$ (рис. 3). Следует отметить, что излучение суммарной частоты (ω_3) резко ограничено по углу направлениями линейного синхронизма (рис. 3, кривая 2).

При расположении $\mathbf{n}_1$ и $\mathbf{n}_2$ в плоскости x', y' нет направлений линейного синхронизма, а $(\varphi_2 - \varphi_1)_c$ не зависит от φ_3 . Интенсивность излучения (ω_3) максимальна для $\varphi_3 = 45^\circ$ и 135° и равна нулю при $\varphi_3 = 90^\circ$ ($oo \rightarrow e$), так как $I(\omega_3) \sim \sin^2 2\varphi_3$. Для $\varphi_3 = 90^\circ$ ($oe \rightarrow e$) имеем (рис. 1, в)

$$\sin \varphi_2 = \frac{2n_{e3}}{n_{o2} + n_{e1}}, \quad \operatorname{tg} \varphi_1 = \frac{n_{o2} \sin \varphi_2 - 2n_{e3}}{n_{o2} \cos \varphi_2}. \quad (2)$$

Здесь интенсивность излучения (ω_3) равна нулю при $\varphi_2 = 90^\circ$, так как $I(\omega_3) \sim \cos^2 \varphi_2 \sin^2 \varphi_3$. Для случая, изображенного на рис. 1, г, нет взаимодействия $oe \rightarrow e$, а для $oe \rightarrow o$ нет ни линейного, ни векторного синхронизма. Значения $d(\varphi_2 - \varphi_1)_c / d\lambda$, приведенные на рис. 4, особенно велики на краях области существования векторного синхронизма.

Угловая полуширина $2|\Delta\varphi|$ векторного синхронизма может быть определена из следующих выражений:

$$\frac{\sin \psi}{\psi} = \frac{1}{\sqrt{2}}, \quad \psi = \frac{l}{2} |k_1 + k_2 - k_3|,$$

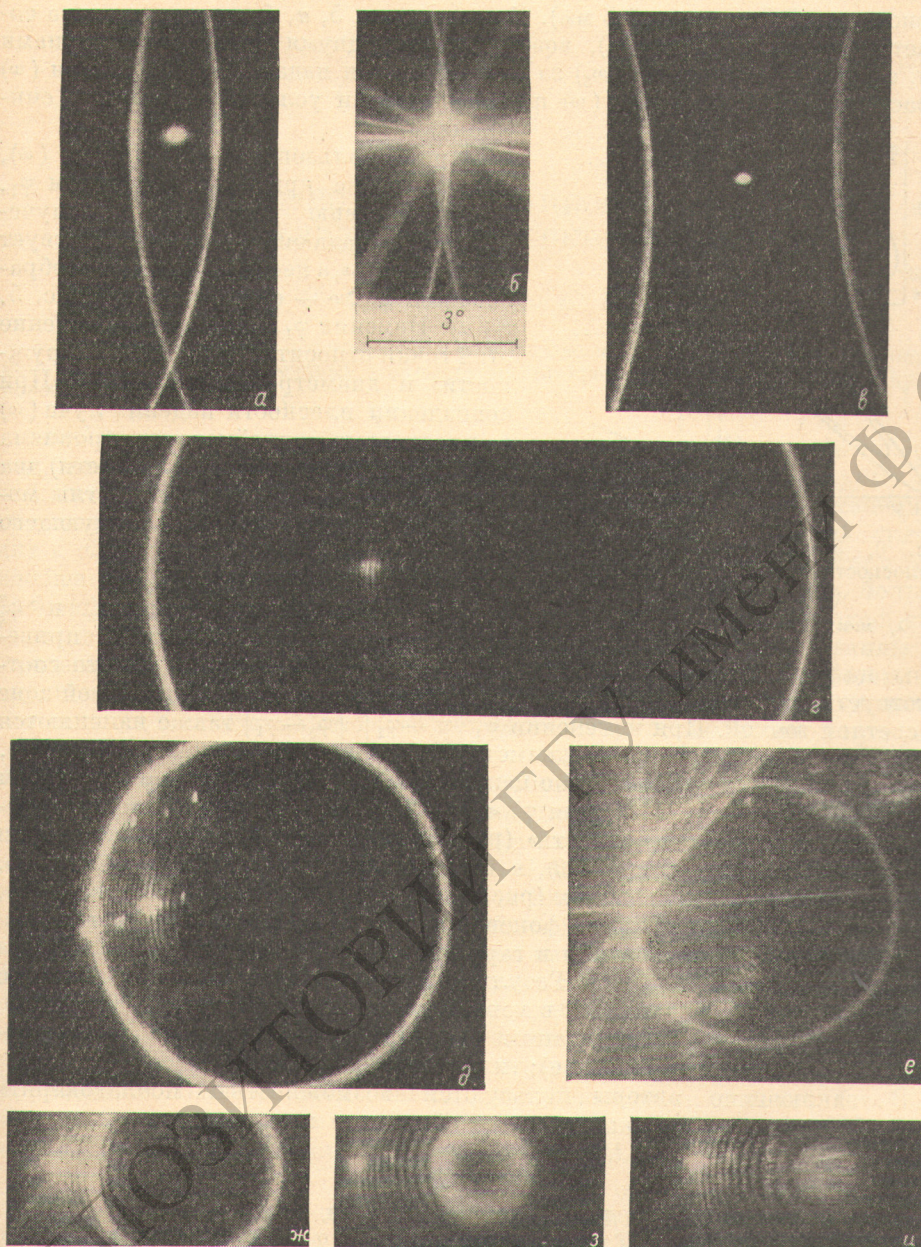


Рис. 5. Распределение излучения ($\lambda=0.347$ мкм) в дальней зоне (ADP).

$a, б, в$ — взаимодействуют две волны (ω), падающие на кристалл, $г-и$ — взаимодействуют падающая на кристалл волна (ω) с рассеянной в кристалле (ω). $a - (\varphi_2 - \varphi_1) < (\varphi_2 - \varphi_1)_c$, $б - (\varphi_2 - \varphi_1) \approx (\varphi_2 - \varphi_1)_c$, $в - (\varphi_2 - \varphi_1) > (\varphi_2 - \varphi_1)_c$, $г - \varphi_1 = \theta + 9^\circ$, $д - \varphi_1 = \theta + 1^\circ 20'$, $е - \varphi_1 = \theta + 5'$, $ж - \varphi_1 = \theta - 32'$, $з - \varphi_1 = \theta - 52'$, $и - \varphi_1 = \theta - 1^\circ 2'$, ($\theta = 52^\circ 22'$).

l — длина кристалла, k — волновые вектора. Здесь следует различать случай, когда векторы рефракции n_1 и n_2 смещаются в одну сторону в плоскости падения, при этом $\Delta\varphi' = |\Delta\varphi_1| = |\Delta\varphi_2| = |\Delta\varphi_3|$, от случая, когда n_1 и n_2 смещаются в разные стороны $\Delta\varphi'' = |\Delta\varphi_1| = |\Delta\varphi_2|$ ($\Delta\varphi_3 = 0$, $\Delta\varphi_1 = -\Delta\varphi_2$). Например, для кристаллов ($l=1$ см) KDP $2\Delta\varphi' = 2^\circ 8'$ и $2^\circ 46'$,

$2\Delta\varphi''=0.45'$ и $0.62'$, для ADP $2\Delta\varphi'=2^{\circ}4'$ и $2^{\circ}38'$ $2\Delta\varphi''=0.45'$ и $0.58'$ соответственно для излучения с длинами волн 0.6943 и 1.06 мкм ($\varphi_3=90^{\circ}$).

При вычислении $(\varphi_2-\varphi_1)_c$ использованы значения показателей преломления из [7].

На рис. 5 приведено распределение излучения (ω_3) в дальней зоне (кристалл ADP толщиной 5 мм). В центре рис. 5, а, б, в светлая точка соответствует излучению (ω_3), возбужденному двумя падающими волнами (ω), а дуги — излучению (ω_3) за счет смещения падающего излучения (ω) с рассеянным в кристалле (ω) при выполнении условий векторного синхронизма.

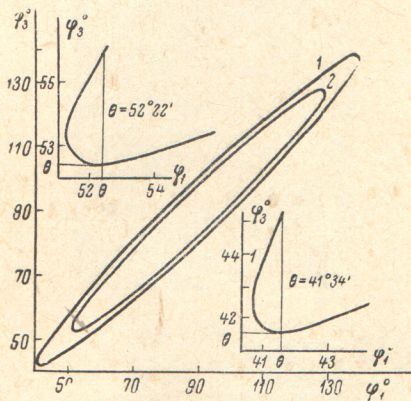


Рис. 6. Зависимость φ_3' , φ_3'' от φ_1 в плоскости линейного синхронизма (ADP, $oo \rightarrow e$).

λ , мкм: 1 — 1.06, 2 — 0.6943.

дены на рис. 6. При $\varphi_1=90^{\circ}$ $|\varphi_3'-\varphi_1|=|\varphi_3''-\varphi_1|$, $\varphi_3' > \varphi_1 > \varphi_3''$, что соответствует совпадению центра «окружности» распределения в дальней зоне со светлой точкой. При изменении φ_1 $|\varphi_3'-\varphi_1|$, $|\varphi_3''-\varphi_1|$ также изменяются и $|\varphi_3'-\varphi_1| \neq |\varphi_3''-\varphi_1|$, т. е. диаметр «окружности» становится меньше, а точка смещается относительно центра (рис. 5, г, д). В случае $\varphi_1=\theta$ (или $\varphi_1=\pi-\theta$) $\varphi_3'=\varphi_1$, $\varphi_3' > \theta$ (или $\varphi_3' < \pi-\theta$, $\varphi_3'=\pi-\theta$), что приводит к попаданию точки на «окружность» (рис. 5, е). При дальнейшем изменении φ_1 φ_3' , $\varphi_3'' > \varphi_1$ (φ_3' , $\varphi_3'' < \pi-\theta$), а «окружность» превращается в кольцо, диаметр которого уменьшается (рис. 5, ж, з, и). По мере приближения φ_1 к θ (или $\pi-\theta$) увеличивается фоновое излучение (2ω) за счет увеличения коэффициента преобразования в гармонику. Эксперименты выполнены на установке, описанной в [4]. Результаты измерений в пределах точности измерений φ_3 ($\sim 1^{\circ}$) находятся в хорошем согласии с расчетом. Например, для $\varphi_1=\theta+5'$ ($52^{\circ}27'$) рассчитанные значения $|\varphi_3'-\varphi_3''|$ равны $3^{\circ}30'$ (в кристалле), $5^{\circ}10'$ (вне кристалла); измеренное — $5^{\circ}30'$.

В заключение авторы пользуются возможностью поблагодарить Н. Д. Лизунова за высокое качество обработки кристаллов.

Литература

- [1] J. A. Giordmaine. Phys. Rev. Letters, 8, 19, 1962.
- [2] P. D. Maker, R. W. Terhune, M. Nisenoff, C. M. Savage. Phys. Rev. Letters, 8, 21, 1962.
- [3] Г. В. Кривошеков, В. И. Строганов. В сб. «Нелинейные процессы в оптике», 103. Изд. «Наука», Новосибирск, 1970.
- [4] Г. В. Кривошеков, В. И. Строганов, В. М. Тарасов, В. И. Самарин, В. А. Рыбьянец. Изв. физика № 12, 12, 1970.
- [5] А. В. Гайнер, С. В. Круглов, В. В. Лебедев, С. И. Маренников, Г. В. Кривошеков. Аннотации докладов, представленных на V Всесоюзной конференции по нелинейной оптике, 127. Кишинев, 1970.
- [6] Г. В. Кривошеков, В. И. Строганов, В. И. Самарин, В. М. Тарасов. Аннотации докладов, представленных на V Всесоюзной конференции по нелинейной оптике, 139. Кишинев, 1970.
- [7] H. P. Weber, E. Mathien, K. P. Meyer. J. Appl. Phys., 37, 3584, 1966.

Поступило в Редакцию 15 июля 1971 г.