

Метод определения максимального значения акустооптического качества в оптически изотропных средах

П. А. Никитин*

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, физический факультет
Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2

Предложен метод, позволяющий определить экстремальные значения акустооптического (АО) качества. Преимуществом данного метода является наглядность, а также быстродействие. Результаты могут быть использованы при проектировании высокоэффективных АО устройств, основанных на оптически изотропных средах.

PACS: 78.20.hb

УДК: 534.522+535.42

Ключевые слова: акустооптика, акустооптическое качество, изотропная среда.

Акустооптические (АО) устройства широко применяются для управления параметрами электромагнитного излучения благодаря компактности, отсутствию движущихся механических частей и, как следствие, быстродействию. Среди них наибольший интерес вызывают те, которые изготовлены на основе кристаллических сред [1]. К сожалению, изготовление таких устройств сопряжено с рядом технологических трудностей, а также сложностью теоретического расчёта их характеристик. Одним из способов оптимизации АО устройств является выбор материалов, обладающих высокими значениями АО качества M_2 . Существует ряд методов, позволяющих определить АО качество при заданной геометрии АО взаимодействия и типе акустической моды [2, 3]. Расчёты, основанные на этих методах, позволяют в неявном виде получить значение M_2 как функцию многих переменных. Поэтому ни один из них не позволяет напрямую определить оптимальные параметры АО взаимодействия, при которых M_2 достигает своего максимального значения.

Очевидно, что наиболее простой метод может быть разработан только для кристаллов с высокой степенью симметрии кристаллической решётки. Как известно, АО качество зависит от эффективной фотоупругой постоянной p_{eff} , показателей преломления $n_{(0)}$ и $n_{(1)}$ для падающего и дифрагированного излучения, плотности среды ρ и скорости звуковой волны V по формуле [4]:

$$M_2 = \frac{p_{eff}^2 n_{(0)}^3 n_{(1)}^3}{\rho V^3}. \quad (1)$$

Значение p_{eff} определяется направлениями единичных векторов напряжённости электрического поля $\mathbf{e}^{(0)}$ и $\mathbf{e}^{(1)}$, а также возмущением $\Delta\hat{\epsilon}$ тензора диэлектрической проницаемости $\hat{\epsilon}_0$ [4]:

$$p_{eff} = \frac{1}{n_{(0)}^2 n_{(1)}^2} \frac{\mathbf{e}^{(0)} \Delta\hat{\epsilon} \mathbf{e}^{(1)}}{S_0}, \quad (2)$$

где S_0 — величина безразмерной деформации кристалла под действием акустической волны.

Пусть задано направление волнового вектора акустической волны \mathbf{K} . Решая уравнение Кристоффеля, можно определить поляризацию и скорости трёх соответствующих ей акустических мод. Рассмотрим АО дифракцию на одной из них и определим все компоненты тензора $\Delta\hat{\epsilon}$. Далее выберем лабораторную систему координат, в которой тензор $\Delta\hat{\epsilon}$ имеет диагональный вид с компонентами $\Delta\epsilon_{ii}$. Как известно, её осями будут собственные вектора указанного тензора. При расчёте по формуле (2) будем предполагать, что в оптически изотропной среде поляризация $\mathbf{e}^{(0)}$ падающего излучения задаётся поляризатором, а поляризация $\mathbf{e}^{(1)}$ дифрагированного излучения — анализатором. Последним шагом нашего метода будет поиск взаимной ориентации $\mathbf{e}^{(1)}$ и $\mathbf{e}^{(0)}$, при которой M_2 достигает своего максимального значения.

Непосредственным умножением можно показать, что экстремальные значения фотоупругой постоянной p_{eff} достигаются, когда $\mathbf{e}^{(1)}$ и $\mathbf{e}^{(0)}$ параллельны и совпадают с одной из осей лабораторной системы координат. Полученный результат имеет достаточно простую физическую интерпретацию. Если вектор $\mathbf{e}^{(0)}$ направлен вдоль одной из главных осей возмущённой индикатрисы (например, [100]), то такая волна является собственной для возмущённой среды и эффективность АО взаимодействия будет пропорциональна $\Delta\epsilon_{11}^2$. В противном случае электромагнитная волна разложится в среде на две волны, каждая из которых будет дифрагировать независимо от другой. Поэтому результирующая эффективность дифракции не превысит максимальную из двух эффективностей дифракции. Очевидно, что максимум эффективности АО взаимодействия достигается лишь в том случае, когда падающая электромагнитная волна поляризована вдоль главной оси возмущённой индикатрисы, которой соответствует наибольшее значение $|\Delta\epsilon_{ii}|$. Таким образом, для данной акустической моды и выбранного направления волнового вектора \mathbf{K} , задаваемого углами θ и φ в сферической системе координат, мы определили три экстремальных значения эффективной фотоупругой постоянной $p_{eff}^{(i)}$. Для двух оставшихся акустических мод бу-

*E-mail: nikitin.pavel.a@gmail.com

дет получено ещё по три значения. Подставив полученные значения в соотношение (1), мы можем построить девять двумерных зависимостей $M_2^{(i)}(\theta, \varphi)$, из вида которых можно непосредственно определить максимальное значение M_2 .

Преимуществом данного метода является то, что нет необходимости в решении уравнении Френеля, а также в переборе всех возможных направлений волновых векторов падающей и дифрагированной волн и проверке выполнения условия Брэгговского синхронизма. Однако, можно показать, что этот метод может быть применён только к оптически изотропным средам. Первая причина состоит в том, что в оптически анизотропных средах оптимальные направления напряжённости

\mathbf{e} , зависят от мощности акустической волны и величины показателя преломления. А вторая — в том, что найденные \mathbf{e} будут удовлетворять условию Брэгговского синхронизма, лишь в некоторых редких случаях (например, когда \mathbf{K} направлен вдоль одной из кристаллографических осей).

Таким образом, предложенный метод позволяет определить максимальные значения АО качества в оптически изотропных средах, наиболее общим классом которых являются кубические кристаллы. Выполненные расчёты могут быть использованы при проектировании высокоэффективных АО устройств.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 14-12-00380.

- [1] *Voloshinov V. B.* Journal of Optics. **18**, N 2. P. 025402. (2016).
 [2] *Ahmad A. K., Majeed M. F.* Int. J. Opt. and Appl. **6**, N 1. P. 1. (2016).
 [3] *Mytsyk B. G., Demyanyshyn N. M., Sakharuk O. M.* Appl.

Opt. **54**, N 28. P. 8546. (2015).

- [4] *Балакиев В. И., Парыгин В. Н., Чирков Л. И.* Физические основы акустооптики. М.: Радио и связь. 1985. С. 78.

Method to determine maximal values of acousto-optic figure of merit in optically isotropic media

P. A. Nikitin

Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State University, Moscow 119991, Russia

E-mail: nikitin.pavel.a@gmail.com

A method to determine optimal values of acousto-optic (AO) figure of merit was developed. Its advantages are clarity and high performance. Results can be used for development high-efficient AO devices based on optically isotropic media.

PACS: 78.20.hb

Keywords: acousto-optics, acousto-optic figure of merit, isotropic medium.

Сведения об авторе

Никитин Павел Алексеевич — мл. науч. сотрудник; тел.: (495) 939-44-04, e-mail: nikitin.pavel.a@gmail.com.