

АРХИТЕКТУРА ПОСТРОЕНИЯ АКУСТООПТИЧЕСКИХ ФИЛЬТРОВ НА ОСНОВЕ ПЕРВОГО И ВТОРОГО БРЭГГОВСКИХ РЕЗОНАНСОВ

А.Г. Коробка

(представил д.т.н., проф. Л.Ф. Купченко)

В работе показана перспективность применения акустооптических фильтров, использующих высшие порядки брэгговской дифракции в системах видеоспектральной съемки, входящих в состав оптоэлектронных систем дистанционного зондирования, экологического мониторинга, природопользования. Указываются особенности акустооптического (АО) взаимодействия. Приводятся расчетные данные и графики при различных способах обеспечения условий акустооптического взаимодействия.

Опыт использования видеоспектральной аппаратуры позволил наметить пути ее совершенствования, главными из которых являются увеличение светосилы, расширение спектрального диапазона, повышение спектрального разрешения, снижение габаритно - весовых параметров и потребляемой энергии [1, 2]. Наиболее полно эти направления реализуются в видеоспектральных системах на основе акустооптических фильтров (АОФ) [3, 4].

Основными преимуществами АОФ перед другими диспергирующими устройствами подобного класса являются: во-первых, возможность формирования произвольной требуемой спектральной характеристики в реальном масштабе времени путем возбуждения в звукопроводе ультразвуковых волн с различными частотами и амплитудами; во-вторых, возможность изменения коэффициента пропускания АОФ регулировкой мощности высокочастотного сигнала, поступающего на пьезопреобразователь звукопровода [5].

Принцип действия неколлинеарных АОФ основан на дифракции Брэгга, при взаимодействии анализируемого оптического излучения с ультразвуковыми колебаниями в анизотропных или изотропных средах.

В [2, 3, 6] проводится анализ свойств АО взаимодействия в АОФ при выполнении условий первого и второго брэгговских резонансов. Из анализа сделан вывод о целесообразности использования АОФ на основе второго брэгговского резонанса для обработки информации о спектральном составе излучения различных объектов с повышенной разрешающей способностью.

В настоящей статье будут рассмотрены особенности свойств АО взаимодействия, обусловленные различными способами обеспечения условий брэгговских резонансов. Для этого воспользуемся результатами работы [6] и представим дифракционные эффективности для первого и второго порядков в виде:

$$|\Psi_1|^2 = \frac{|E_1|^2}{A^2} = \frac{4q^2}{\varepsilon^2_1 + 4q^2} \sin^2 \left(\frac{\sqrt{\varepsilon^2_1 + 4q^2}}{4k_1} k_0^2 \ell \right); \quad (1)$$

$$|\Psi_2|^2 = \frac{|E_{21}|^2}{A^2} = \frac{q^4}{\varepsilon^2_2 + q^4} \sin^2 \left(\frac{\sqrt{\varepsilon^2_2 + q^4}}{2k_1} k_0^2 \ell \right), \quad (2)$$

где $q = \frac{\Delta n}{n} \left(\frac{k}{k_0} \right)^2$ – параметр Рытого;

$\frac{\Delta n}{n}$ – относительное изменение коэффициента преломления в звуковой волне;

$$\varepsilon_1 = 1 - \frac{2\kappa \cdot \sin \Theta}{k_0} \text{ – относительная расстройка для первого резонанса;}$$

$$\varepsilon_2 = 2 \cdot \left(1 - \frac{\kappa \cdot \sin \Theta}{k_0} \right) \text{ – относительная расстройка для второго резонанса;}$$

ℓ – длина АО взаимодействия.

Из выражений (1) и (2) следует, что для достижения максимума дифракционной эффективности каждого из исследуемых порядков необходимо обеспечить два следующих требования: необходимо обеспечить условие брэгговского синхронизма для каждой составляющей $\varepsilon_i = 0$ ($i = 1, 2$); необходимо, чтобы аргументы синуса в выражениях (1) и (2) принимали значения $\pi/2 + m\pi$ ($m = 0, 1, 2$).

Анализ (1), (2) позволяет рекомендовать для обеспечения условий первого ($\varepsilon_1 = 0$) и второго ($\varepsilon_2 = 0$) брэгговских резонансов два способа, которые и будут определять архитектуру построения АОФ.

Рассмотрим первый способ. При фиксированном угле взаимодействия θ , условия брэгговского резонанса обеспечиваются путем изменения частоты сигнала, подаваемого на пьезопреобразователь АОФ. При этом:

$$\sin \theta = \frac{k_{01}}{2k}; \quad \sin \theta = \frac{k_{02}}{k},$$

тогда

$$f_{01} = 2f_{02}.$$

Второй способ обеспечения условий брэгговского резонанса состоит в выборе угла взаимодействия света с ультразвуковой волной для первого - θ_1 и второго - θ_2 брэгговского резонанса. Частота ультразвука, в этом случае, остается постоянной. При этом:

$$\frac{k_0}{2k} = \sin\theta_1; \quad \frac{k_0}{k} = \sin\theta_2,$$

тогда

$$\theta_2 = 2\theta_1.$$

Существенно, что спектральные и энергетические характеристики фильтров, в которых условия второго брэгговского резонанса реализуются путем изменения частоты, либо путем изменения угла взаимодействия, будут различны. Целью настоящей статьи является изучение указанных различий и обоснование предложений по архитектуре построения АОФ на основе первого и второго брэгговского резонанса.

Рассмотрим относительную полосу пропускания ($\Delta\lambda/\lambda$) АОФ для первого и второго брэгговского резонанса. Энергетические характеристики проанализируем путем сравнения параметра относительного изменения показателя преломления среды – $\Delta n/n$ для первого и второго брэгговского резонанса.

Известно [7], что спектральное разрешение зависит от величины параметра Клейна - Кукка ($Q = k_0^2 \cdot \ell/k$) и равно

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{4\pi}{Q}.$$

Тогда при реализации условий второго брэгговского резонанса путем изменения частоты ультразвука (первый способ) следует ожидать уменьшения спектрального разрешения АОФ. В то же время, обеспечить максимум дифракционной эффективности составляющих второго порядка дифракции возможно при меньшем значении $\Delta n/n$, чем при реализации второго способа. Действительно, из (2) получим

$$|\Psi_2|^2 = \sin^2 \left(\left(\frac{\Delta n}{n} \right)^2 \left(\frac{k}{k_0} \right)^2 \frac{k\ell}{2} \right),$$

откуда следует, что при увеличении $(k/k_0)^2$ условие $\varepsilon_2 = 0$ будет выполняться при меньшем $(\Delta n/n)^2$.

Численные расчеты для определения спектральных и энергетических характеристик АОФ, реализующих указанные способы обеспечения условий брэгговского резонанса проведем, выбрав в качестве материала для звукопровода АОФ парателлурит. Он имеет следующие характеристики: скорость распространения ультразвука $U_0 = 61700$ см/с, коэффициент преломления $n = 2,412$. Длина АО взаимодействия выбиралась

равной $\ell = 0.23$ см. Оптическое излучение с фиксированной длиной волны $\lambda = 0.633$ мкм. Результаты расчетов сведены в табл. 1 и представлены в виде графиков (рис. 1).

Таблица 1

Результаты расчетов

Способ обеспечения БР	Условия взаимодействия	$\Delta\lambda/\lambda$		$\Delta n/n$	
		I БР	II БР	I БР	II БР
1	$2f_0 = 70\text{МГц}$ $f_0 = 35\text{МГц}$	0,2	0,15	$5,7 \cdot 10^{-5}$	$1,1 \cdot 10^{-4}$
2	$\theta_B = 0,0015$ $2\theta_B = 0,03$	0,2	0,047	$5,7 \cdot 10^{-5}$	$2,2 \cdot 10^{-4}$

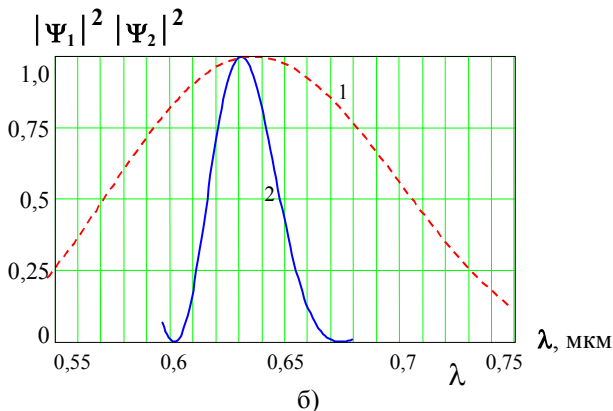
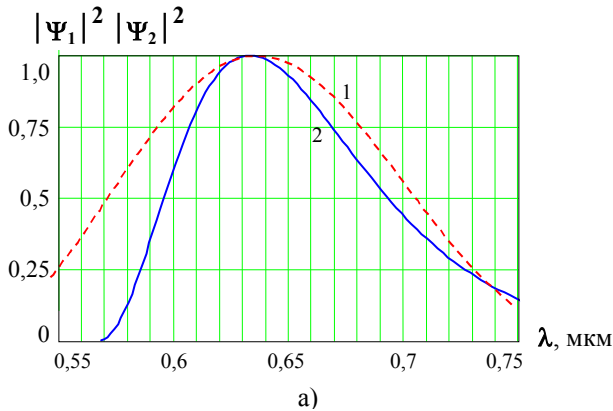


Рис. 1. Полоса пропускания акустооптического фильтра при обеспечении условий взаимодействия путем изменения частоты (а) и изменении угла (б) (1 – первый брэгговский резонанс; 2 – второй брэгговский резонанс)

Выводы. 1. Практическая реализация условий первого и второго брэгговских резонансов путем изменения частоты ультразвука сопряжена с минимальными техническими трудностями. Для этого требуется изменить частоту ультразвука в два раза, при фиксированном угле АО взаимодействия. Однако, с уменьшением частоты происходит ухудшение селективных свойств дифракционных составляющих второго брэгговского резонанса. Как показал численный расчет характеристик АОФ, полоса $\Delta\lambda/\lambda$ при этом изменяется приблизительно на 20 %, параметр $\Delta n/n$ необходимо увеличить приблизительно на 90 %.

2. Для реализации высоких селективных свойств АОФ необходимо использовать второй способ обеспечения условий АО взаимодействия. При этом, несмотря на усложнение оптической части АОФ, связанной с необходимостью изменения угла взаимодействия, полоса $\Delta\lambda/\lambda$ уменьшается примерно на 80 %, в то же время, параметр $\Delta n/n$ необходимо увеличить примерно на 300 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гуд В.В. и др. Оптическая система видеоспектрометрического комплекса // Известия ВУЗ. Приборостроение. – Т.31. – № 12. – 1988. – С. 45 - 52.
2. Купченко Л.Ф., Коробка А.Г. Акустооптические фильтры с повышенной разрешающей способностью для видеоспектрометров систем воздушной разведки и экологического контроля // Сб. научн. тр. «Авиационно - космическая техника и технология». – Вып. 22. – Х.: ХАИ. – 2001. – С. 353 - 357.
3. Гаркуша А.А., Коробка А.Г. Перестраиваемые акустооптические фильтры в авиационных видеоспектрометрах дистанционного зондирования земли // Материалы 4 МНТК «АВИА 2002», том «Информационно - диагностические системы». – К.: 2002. – С. 11.63 - 11.66.
4. www.novosti-kosmonavтики.ru
5. Асташкин А.А. Космические системы, аппараты и приборы для решения задач природопользования и экологического контроля. Исследование земли из космоса. – №4. – М.: ВИНТИ, 1991.
6. Зильберман Г.Е., Сидоров И.Н., Купченко Л.Ф. К теории дифракции света на ультразвуке // Радиотехника и электроника. – Т. 27. – Ч. 2. – 1982. – С. 241 - 247.
7. Корнел А. Акустооптика. – М.: Мир, 1993. – 240 с.

Поступила 13.05.2002

КОРОБКА Александр Григорьевич, адъюнкт кафедры Харьковского института ВВС. В 1992 году окончил Харьковское ВВАУРЭ. Область научных интересов – разработка оптоэлектронных систем спектральной фильтрации оптического излучения на основе акустооптических фильтров. E-mail – aviaf@mail.ru.