

УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

Санкт-Петербург, 2015

# **Принцип действия акустооптических модуляторов света. Дифракция света на акустооптических волнах. Основы осуществления питания акустооптических модуляторов**

Мосалев Владислав  
Борисов Михаил  
Группа В3430



# Акустооптический модулятор света

- Принцип действия
- Тонкий модулятор
- Брэгговский режим
- Характеристики АОМ
- Материалы, используемые для изготовления АОМ
- Конструкция прибора
- Применение



## Акустооптический модулятор света

Устройство для изменения интенсивности пропускаемого света, вследствие его дифракции на решётке, образуемой в стекле в результате пространственной модуляции показателя преломления акустической волной.



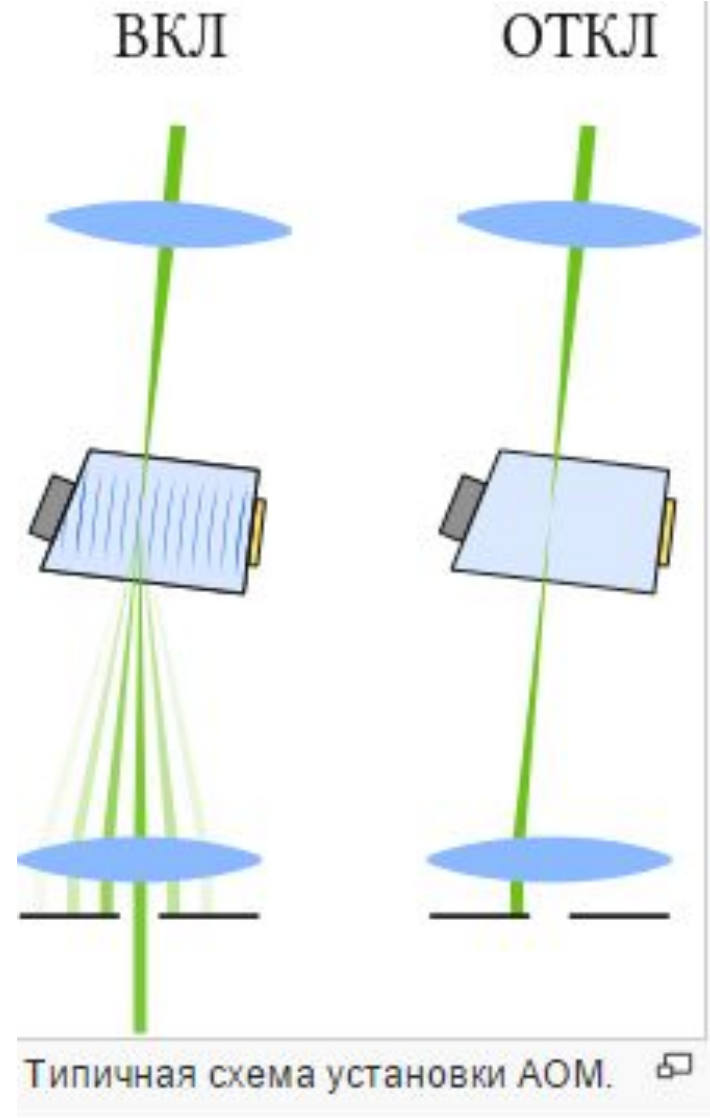
## Принцип действия

Принцип действия АОМ основан на дифракции света на бегущей ультразвуковой волне в оптически прозрачном материале (стекле). Бегущую ультразвуковую волну создает пьезоэлектрический преобразователь, присоединённый к стеклянной пластине.



Благодаря появлению участков сжатия и растяжения, возникающих в стекле и различающихся показателем преломления, в среде формируется дифракционная решётка. Световой пучок, дифрагируя на решётке, образует несколько выходных пучков (дифракционных порядков), разнесённых в пространстве под равными углами относительно друг друга.

При помощи апертуры из всех выходных лучей выделяется первый максимум, который существует только при наличии звуковой волны в модуляторе, и блокируются все остальные





В зависимости от толщины стеклянного тела АОМ имеет некоторые отличия в работе. В тонком модуляторе принцип работы не отличается от того как это описано ранее, но в толстом — необходимо учитывать условия фазового синхронизма,

$$\vec{k} + \vec{k}_{phonon} = \vec{k}_{photon}^{+1},$$

где  $\vec{k}$  — волновой вектор падающего излучения,  $\vec{k}_{photon}^{+1}$  и  $\vec{k}_{phonon}$  — волновые вектора звуковой и оптической, дифрагировавшей в первый порядок, волны.





В толстом модуляторе при правильном выборе угла падения входного луча и благодаря условию синхронизма можно возбудить в основном первый (или минус первый) порядок дифракции.

Промышленность выпускает толстые модуляторы, так как они требуют звуковую волну меньшей мощности. Высокая эффективность дифракции в толстых модуляторах достигается из-за более широкой дифракционной решётки.



## Тонкий модулятор (дифракция Рамана-Ната)

При ортогональном падении света на поверхность кристалла проходящий свет с длиной волны  $\lambda$  и звуковой волной —  $\Lambda$  дифрагирует под углом  $\theta$  в несколько дифракционных порядков  $m$ :

$$\sin \theta = \frac{m\lambda}{2\Lambda}$$



## Брэгговский режим (толстый модулятор)

Практический интерес представляет случай, когда свет (лазерный пучок) направляется на стекло под углом Брэгга. При этом наблюдается дифракция Брэгга, при которой интенсивности всех дифракционных максимумов, кроме первого, становятся малыми.



# Характеристики АОМ

- Дифракционный угол
- Интенсивность
- Частота
- Фаза
- Поляризация
- Быстродействие



## Дифракционный угол

Длина звуковой волны в стекле равна:

$$\Lambda = \frac{v}{F},$$

где  $v$  — скорость звука, а  $F$  — частота звука. При частоте модуляции 80 МГц (самая распространенная частота АОМ) и скорости звука в стекле 3,2 км/с, длина волны звука в стекле составляет  $\Lambda = 40$  мкм, а угол отклонения  $\theta$  дифрагированного луча первого порядка равен около 10 миллирадиан.



## Интенсивность

Интенсивность дифрагированных лучей зависит от интенсивности звуковой волны и угла поворота модулятора (Брэгговского угла). Модулируя интенсивность звуковой волны можно менять (нелинейно) интенсивность дифрагированных лучей. Как правило, интенсивность луча нулевого порядка меняется в пределах 15—99 %, а интенсивность первого порядка — 0—80 %. Контрастность модуляции часто превышает 1000 и может легко достигать 10 000 (40 дБ).



## Частота

Частота дифрагированных лучей вследствие эффекта Допплера изменяется по формуле:  $\nu \rightarrow \nu + mF$

Такое смещение частоты обуславливается также законом сохранения энергии и импульса (фотонов и фононов). В некоторых АОМ акустические волны, распространяющиеся в противоположных направлениях, создают стоячую волну, в результате частоты дифракционных порядков не меняется.



## Фаза

Фаза дифрагированных лучей также смещается на величину фазы звуковой волны.

## Поляризация

Звуковая волна наводит двулучепреломление в стекле, поэтому поляризация света после прохождения модулятора может изменяться.





## Быстродействие

Быстродействие АОМ ограничивается временем прохождения звуковой волны через сечение светового пучка  $t=d/v$ , (где  $d$  — поперечный размер лазерного луча,  $v$  — скорость звука в материале ячейки) и составляет порядка 2—10 мкс для коллимированного лазерного луча диаметром несколько миллиметров.



Чем меньше пятно фокусировки, тем лучше быстродействие АОМ, поэтому обычно модулятор размещается в фокусе линзы, при этом выходные лучи коллимируются второй линзой. Толстый модулятор требует применения длиннофокусной линзы; при правильной компоновке и юстировке возможно достичь быстродействия в примерно 20 нс. АОМ может работать в режиме модулятора и дефлектора (т. е. также отклонять по углу падающий луч при изменении частоты звуковой волны).



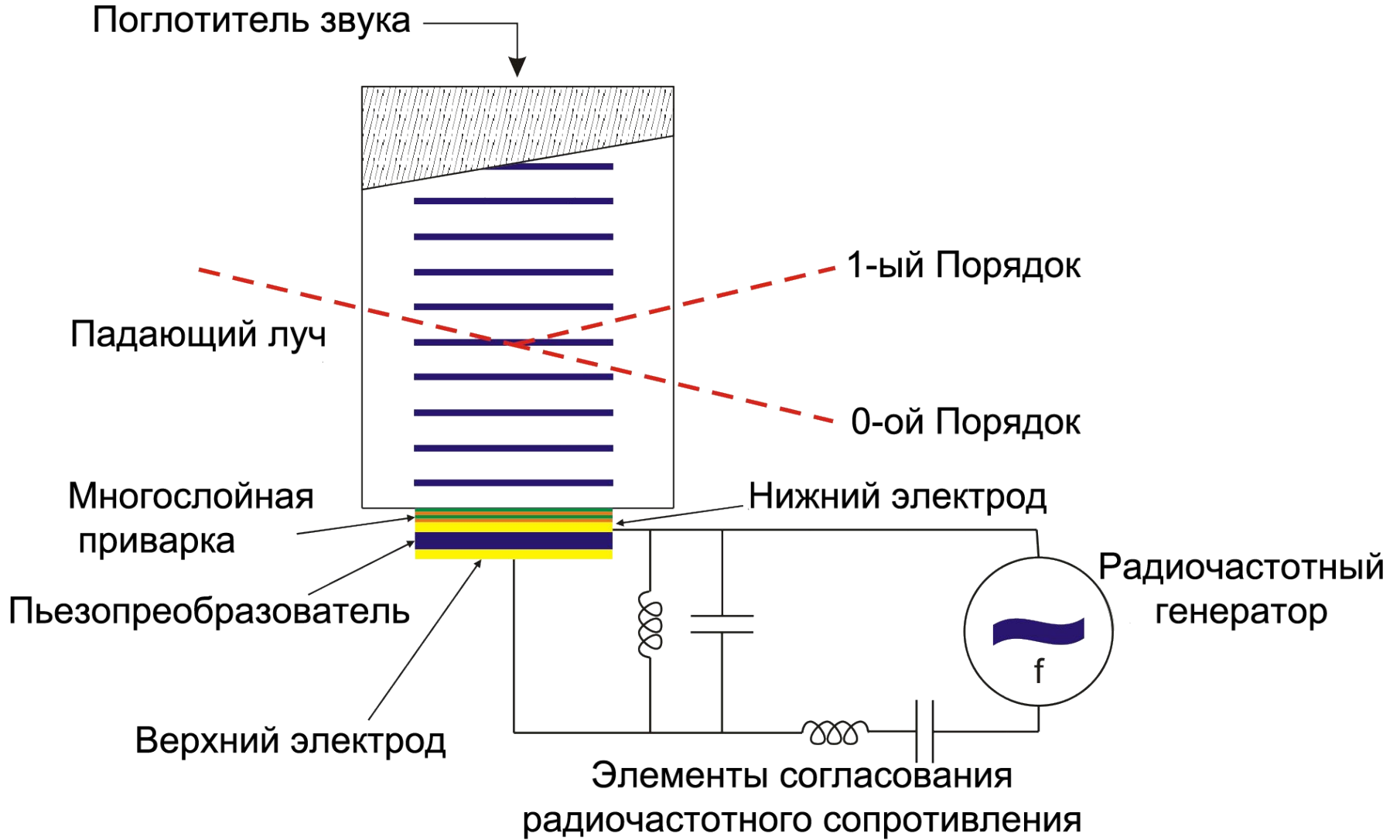
## Материалы, используемые для изготовления АОМ

- Халькогенидное стекло
- Флинт SF-6
- Кварцевое стекло
- Фосфит галлия
- Германий
- Фосфат индия
- Ниобат лития
- Диоксид теллура



## Конструкция прибора

Оптически полированное стекло с помощью пайки под давлением соединяется с пьезопреобразователем, изготовленным из ниобата лития. Толщина пластины ниобата лития выбирается исходя из требуемой частоты модуляции (вплоть до 1 ГГц). Противоположная грань стеклянной пластины спиливается под углом, так что отраженная звуковая волна уходила в сторону, чтобы не возникала стоячая волна. Более того, на этой грани обычно размещается брусок из звукопоглощающего материала.



АОМ обычно размещается в металлическом корпусе с отверстиями для ввода-вывода света и РЧ-разъёмом для подачи модулирующего сигнала (обычно SMA или BNC). Возможно также исполнение прибора с волоконными входами и выходом, что позволяет его легко интегрировать в системы, работающие с оптоволоконном.





## Применение

АОМ используются для быстрой модуляции и отклонения лазерных лучей, поэтому они находят широкое применение в оптических лабораториях как простой способ модулирования лазерного луча (высокоскоростной затвор). Использование АОМ внутри резонатора лазера позволяет управлять потерями резонатора и осуществлять активную модуляцию добротности или синхронизацию мод лазера.



# Дифракция света на акустооптических волнах





## Акустооптический эффект

Акустооптический эффект, известный в научной литературе также как акустооптическое взаимодействие или дифракция света на акустических волнах, был впервые предсказан Бриллюеном в 1921 году и затем экспериментально обнаружен Люка, Бикаром и Дебаем, Сирсом в 1932 году.



В основе акустооптического взаимодействия лежит более общий эффект фотоупругости, заключающийся в изменении диэлектрической проницаемости среды  $\varepsilon$  под действием механической деформации  $a$ . Феноменологически этот эффект описывается как изменение коэффициентов оптической индикатрисы  $B_i$ , вызванное деформацией  $a_j$ :

$$\Delta B_i = p_{ij} a_j,$$

где  $p_{ij}$  - компоненты тензора фотоупругости,  $i, j = 1, 2, \dots, 6$ .



В случае акустооптического эффекта деформация  $a_j$  создается акустической волной, возбуждаемой в прозрачной среде. Поэтому каждая акустическая волна сопровождается волной изменения показателя преломления среды.



Для падающего света среда с показателем преломления представляет собой дифракционную решетку, движущуюся со скоростью звука  $V$ . Проходя через такую среду, свет дифрагирует на неоднородностях показателя преломления, формируя в дальней зоне характерную дифракционную картину.



При рассмотрении дифракции света на монохроматической акустической волне в первую очередь выделяют два предельных режима: раман-натовский и брэгговский.



Режим Рамана-Ната соответствуют относительно низким акустическим частотам  $f$  и малой длине акустооптического взаимодействия  $l$  (обычно  $f < 10$  МГц и  $l < 1$  см). Этот тип дифракции наблюдается при произвольных углах падения света на акустооптическую ячейку  $\vartheta_0$ , а дифракционная картина может содержать много дифракционных максимумов с симметричным распределением интенсивности света.



В противоположность этому, режим Брэгга наблюдается на высоких частотах ультразвука, обычно превышающих 100 МГц. Дифракционная картина, даже при большой акустической мощности  $P_a$ , состоит, как правило, только из двух дифракционных максимумов нулевого и первого порядков. Однако даже эти максимумы появляются только при определенных углах падения света вблизи так называемого угла Брэгга. В этом случае боковой максимум (брэгговский максимум) образуется как селективное отражение света от волновых фронтов ультразвука.

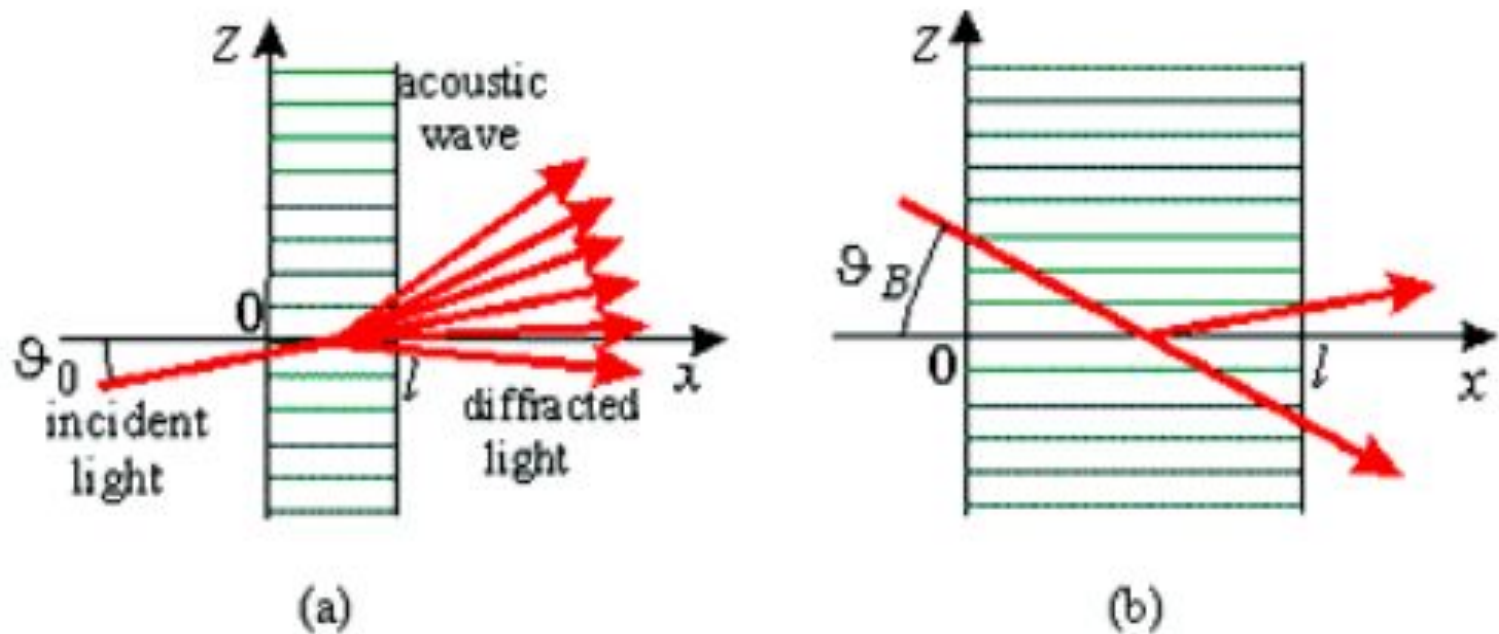


Fig.1. Diffraction of Raman-Nath (a) and Bragg (b)

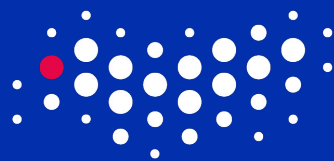




Четко выделенной границы между двумя описанными режимами дифракции не существует. С увеличением частоты ультразвука угловая селективность акустооптического взаимодействия возрастает, а число наблюдаемых дифракционных максимумов постепенно уменьшается. Традиционно раман-натовский и брэгговский режимы определяются условиями  $Q \ll 1$  и  $Q \gg 1$  соответственно, где  $Q$  - параметр Кляйна-Кука. Поскольку только один дифракционный максимум используется в акустооптических устройствах (как правило, первый порядок), то брэгговский режим более предпочтителен из-за



Но с другой стороны, акустооптическая селективность, присущая брэгговскому режиму, ограничивает частотный диапазон акустооптического взаимодействия и, как следствие, быстродействие акустооптических устройств и их информационную емкость.



УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

**Спасибо за внимание!**

Санкт-Петербург, 2014