



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
"Московский технологический университет"
МИРЭА

Филиал МИРЭА в г. Фрязино

Кафедра №137 «Электроника и микроэлектроника»

ПРИНЯТО
на заседании кафедры №137
(протокол № 8
От «27» мая 2016 г.)

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ (_____)
«__» _____ 2016 г.

Д.А. КОВТУНОВ

АКУСТОЭЛЕКТРОНИКА

Методические рекомендации для проведения практических занятий
для студентов направления подготовки 11.03.04 «Электроника и микроэлектроника»

Практическое занятие 1 к лекции №2 Физические основы акустоэлектроники.

Основные формулы.

1. Уравнение бегущей волны, распространяющейся со скоростью v в направлении оси Ox

$$y = y_0 \sin \omega \left(t - \frac{x}{v} \right), \text{ где}$$

$v = \lambda \nu$ - скорость колебаний,

$\lambda = vT$ - длина волны, x - расстояние от источника, T - период.

2. Связь между разностью фаз двух точек бегущей волны и разностью хода (разностью расстояний этих точек от источника)

$$\Delta \varphi = 2\pi \cdot \frac{\Delta}{\lambda}.$$

3. Условие максимума амплитуды

$$\Delta = 2k \cdot \frac{\lambda}{2}, \text{ где } k = 0, 1, 2, \dots$$

4. Условие минимума амплитуды

$$\Delta = (2k + 1) \cdot \frac{\lambda}{2}, \text{ где } k = 0, 1, 2, \dots$$

5. Скорость распространения акустических колебаний в тонких стержнях

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \text{ где } E - \text{модуль Юнга, } \rho - \text{плотность среды.}$$

6. Скорость распространения акустических колебаний в газах

$$v = \sqrt{\frac{\gamma R T}{\mu}}, \text{ где } \gamma = \frac{c_p}{c_v}, R - \text{универсальная газовая постоянная, } T - \text{температура, } \mu - \text{молекулярный вес газа.}$$

Примеры решения задач.

Задача 1. Задано уравнение плоской волны $\xi(x,t) = A \cos(\omega t - kx)$, где $A = 0,5$ см, $\omega = 628$ с⁻¹, $k = 2$ м⁻¹. Определить:

- 1) частоту колебаний f и длину волны λ ;
- 2) фазовую скорость v ;

3) максимальные значения скорости ξ'_{\max} и ускорения ξ''_{\max} колебаний частиц среды.

Решение:

$$1) \text{ Частота колебаний } f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{628c^{-1}}{2\pi} = 100c^{-1} = 100\text{Гц}$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda}. \text{ Поэтому длина волны } \lambda \text{ равна } \lambda = \frac{2\pi}{k} = \frac{2\pi}{2} = 3,14 \text{ м.}$$

$$2) \text{ Фазовая скорость } v \text{ равна } v = f \cdot \lambda = 314 \text{ м/с.}$$

$$3) \text{ Скорость частиц среды } \dot{\xi} = -A\omega \sin(\omega t - kx).$$

$$\text{Максимальное значение скорости } \dot{\xi}_{\max} = A\omega = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 628c^{-1} = 3,14 \text{ м/с.}$$

$$\text{Ускорение } \ddot{\xi} = -A\omega^2 \cos(\omega t - kx).$$

Максимальное значение ускорения

$$\ddot{\xi}_{\max} = A\omega^2 = 5 \cdot 10^{-3} \cdot (628c^{-1})^2 = 1971,92 \text{ м/с}^2.$$

Ответ: Частота колебаний $f = 100\text{Гц}$, длина волны $\lambda = 3,14\text{м}$, фазовая

скорость $v = 314 \text{ м/с}$, максимальная скорость $\dot{\xi}_{\max} = 3,14 \text{ м/с}$, Максимальное

ускорение $\ddot{\xi}_{\max} = 1971,92 \text{ м/с}^2$.

Задача 2 Определить скорость v распространения волны в упругой среде, если разность фаз $\Delta\varphi$ колебаний двух точек среды, отстоящих друг от друга на $\Delta x = 10 \text{ см}$, равна $\pi/3$. Частота f колебаний равна 25 Гц .

Решение:

$$\text{Разность фаз } \Delta\varphi \text{ колебаний двух точек среды равна } \Delta\varphi = 2\pi \frac{\Delta x}{\lambda},$$

$$\text{Отсюда } \lambda = 2\pi \frac{\Delta x}{\Delta\varphi} = \frac{2\pi \cdot 0,1\text{м}}{\pi/3} = 0,6\text{м}$$

$$\text{Скорость } v \text{ равна } v = f \cdot \lambda = 25\text{Гц} \cdot 0,6\text{м} = 15 \text{ м/с.}$$

Ответ: $v = 15 \text{ м/с}$.

Задачи для самостоятельного решения.

Задача 1. Плоская звуковая волна возбуждается источником колебаний частоты $\nu=200$ Гц. Амплитуда A колебаний источника равна 4 мм. Написать уравнение колебаний источника $\xi(0, t)$, если в начальный момент смещение точек источника максимально. Найти смещение $\xi(x, t)$ точек среды, находящихся на расстоянии $x=100$ см от источника, в момент $t=0,1$ с. Скорость v звуковой волны принять равной 300 м/с. Затуханием пренебречь.

Задача 2. Звуковые колебания, имеющие частоту $\nu=0,5$ кГц и амплитуду $A=0,25$ мм, распространяются в упругой среде. Длина волны $\lambda=70$ см. Найти:

- 1) скорость v распространения волн;
- 2) максимальную скорость v_{\max} частиц среды

Задача 3. Показать, что выражение $\xi(x,t)=A \cos(\omega t-kx)$ удовлетворяет волновому уравнению $\frac{\partial^2 \xi}{\partial x^2} = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \xi}{\partial t^2}$ при условии, что $\omega=kv$.

Задача 4. Плоская звуковая волна имеет период $T=3$ мс, амплитуду $A=0,2$ мм и длину волны $\lambda=1,2$ м. Для точек среды, удаленных от источника колебаний на расстояние $x=2$ м, найти:

- 1) смещение $\xi(x, t)$ в момент $t=7$ мс;
- 2) скорость ξ' и ускорение ξ'' для того же момента времени.

Начальную фазу колебаний принять равной нулю.

Задача 5. Определить разность фаз $\Delta\varphi$ колебаний источника волн, находящегося в упругой среде, и точки этой среды, отстоящей на $x=2$ м от источника. Частота ν колебаний равна 5 Гц; волны распространяются со скоростью $v=40$ м/с.

Задача 6. Найти скорость v распространения продольных упругих колебаний в следующих металлах:

- 1) алюминии;
- 2) меди;
- 3) вольфраме.

Задача 7. Определить длину λ бегущей волны, если в стоячей волне расстояние l между:

- 1) первой и седьмой пучностями равно 15 см;
- 2) первым и четвертым узлом равно 15 см.

Задача 8. Определить удельное акустическое сопротивление Z_s воздуха при нормальных условиях.

Практическое занятие к лекции №3. Приборы на акустических волнах

Список контрольных вопросов

1. Что такое функциональная электроника?
2. Что такое акустоэлектроника?
3. Какие свойства АВ обуславливают их применение в радиотехнике и электронике?
4. В чем состоит преимущество использования поверхностных волн вместо объемных?
5. Какие эффекты исследуются в рамках электроакустики?
6. Что такое "акустоэлектрический"?
7. В чем заключается явление прямого пьезоэффекта?
8. В чем заключается явление обратного пьезоэффекта?
9. В чем состоит эффект усиления ОАВ сверхзвуковым дрейфовым потоком электронов?
10. Чем возбуждается акустическая волна в ЭАУ на объемных волнах?
11. Какие пьезополупроводники используются в промышленности?
12. В чем заключается трудность практической реализации эффекта усиления объемных АВ дрейфовым потоком электронов?
13. Чем возбуждается акустическая волна в ЭАУ на поверхностных волнах?
14. Что представляет собой ВШП?
15. Чему равен период структуры ВШП?
16. В чем состоит главное достоинство ЭАУ поверхностного типа?
17. Что используется в качестве материала полупроводникового слоя в ЭАУ?
18. Какие изделия составляют большую часть рынка приборов на ПАВ?

Практическое занятие 3. Тест по курсу «Акустоэлектроника»

1. Акустоэлектрический" эффект – это:

- 1. Появление постоянного электрического напряжения или постоянного электрического тока в направлении распространения АВ;
- 2. Рост концентрации неравновесных носителей заряда по мере увеличения амплитуды звуковой волны в пьезоэлектрическом полупроводнике;
- 3. Изменение формы акустической волны;
- 4. Усиление ОАВ сверхзвуковым дрейфовым потоком электронов;

2. Явление прямого пьезоэффекта заключается в:

Возникновении разности потенциалов при геометрическом сжатии кристалла;

Усилении ОАВ сверхзвуковым дрейфовым потоком электронов

Изменении геометрических размеров кристалла при приложении к нему разности потенциалов;

"Электронном" поглощении АВ;

3. Явление обратного пьезоэффекта заключается в:

Изменении геометрических размеров кристалла при приложении к нему разности потенциалов;

"Электронном" поглощении АВ;

Усилении ОАВ сверхзвуковым дрейфовым потоком электронов;

Возникновении разности потенциалов при геометрическом сжатии кристалла;

4. Акустическая волна в ЭАУ на поверхностных волнах возбуждается:

Встречно-штырьевым преобразователем;

Во входном пьезопреобразователе при подаче на вход переменного напряжения;

Движением электронов в звукопроводе;

Разностью потенциалов на границе пьезоэлектрика и полупроводника;

5. Главное достоинство ЭАУ поверхностного типа состоит в:

Простоте возбуждения ПАВ;

Использовании ПАВ вместо ОАВ;

Возможности использования разных материалов пьезоэлектрика и полупроводника;

Использовании одинаковых материалов пьезоэлектрика и полупроводника;

6. В чем состоит преимущество использования поверхностных волн вместо объемных?

Малые потери при преобразовании сигналов и доступность волнового фронта;

Скорость их распространения больше, чем у объемных;

Амплитуда поверхностных волн убывает при удалении от поверхности;

Коэффициент затухания поверхностных волн много меньше, чем у объемных;

7. К эффектам, исследование которых проводится в рамках электроакустики, относятся:

"Электронное" поглощение АВ, пьезоэлектрический эффект;

Пьезоэлектрический эффект, генерация высших гармоник;

Неомичность вольтамперной характеристики;

Дифракция ПАВ, влияние массы и электропроводности электродов;

8. Свойства АВ, обуславливающие их применение в радиотехнике и электронике:

Относительно низкая скорость распространения, простота и высокая эффективность возбуждения в пьезоэлектрических материалах;

Высокая частота, высокая скорость распространения;

Простота и высокая эффективность возбуждения в пьезоэлектрических материалах, низкая частота;

Высокая скорость распространения, быстрое затухание;

9. ВШП представляет собой:

Периодическую структуру из вложенных одна в другую гребенок металлических электродов на поверхности пьезоэлектрика;

Канал распространения АВ;

Прибор для усиления АВ;

Периодическую структуру из вложенных одна в другую гребенок пьезоэлектрика и полупроводника;

10. Среди изделий на ПАВ большую часть рынка составляют:

Линии задержки;

Сенсоры;

Полосовые фильтры;

Дисперсионные фильтры;