

Лекция 4.

Предмет, цель и роль лазерной техники в развитии науки и техники.

1. Современное состояние производства лазерной техники.

К настоящему времени создано большое количество квантовых приборов и различных систем с лазерами, что требует поиска путей эффективного обучения проектированию изделий квантовой электроники. Научными и промышленными предприятиями непрерывно совершенствуются технические характеристики и технологии производства изделий квантовой электроники и радиофизики, что обеспечивает повышение технического уровня приборов и средств автоматизации на основе новейших достижений в микро- и оптоэлектронике, а также лазерной технике.

Квантовая электроника – это современная область физики изучающая взаимодействие электромагнитного излучения с электронами, входящими в состав атомов молекул твердых тел и создающая на основе этих исследований научные методы для разработки квантовых устройств различного назначения. Эти приборы генерируют электромагнитное излучение, усиливают и ормируют его, а также преобразуют спектр лазерного излучения. Следует также упомянуть аппаратуру различного практического назначения, в которой в качестве источника излучения, задающего, преобразующего и отображающего информацию узлов, используются лазеры. Современными требованиями получения информации о свойствах возмущенной среды или проведения прецизионных измерений различных величин могут удовлетворять некоторые оптические методы, согласно которым пучек лазерного излучения можно рассматривать как оптический сигнал с определенными частотой, фазой, амплитудой, поляризацией и направлением распространения излучения. При взаимодействии излучения со средой может изменяться любой из этих параметров. Например, поляризация излучения определяется анизотропными свойствами среды, а фаза волны – геометрией и показателем преломления среды взаимодействия. Необходимо учитывать так же и высокую степень когерентности, монохроматичности и спектральной плотности энергии вынужденного излучения квантов генератора. Границы квантовой электроники и лазерной техники определить очень трудно и весьма условны. Такое положение характерно практически для всех быстроразвивающихся наук. Тем не менее сформулируем предмет лазерной техники, некоторые основы которого будут освещены в дальнейшем.

Лазерная техника – это совокупность научно обоснованных методик расчета, технических решений и средств, позволяющих оптимальным образом схемы и конструкции квантовых приборов основанных на использовании когерентного лазерного излучения.

2. Структурная схема и принцип работы первого квантового генератора.

В авторском издательстве СССР на изобретение №123209 от 18.06.1951 г. выданном В. А. Фабриканту и его сотрудникам записано: „Способ усиления электромагнитных излучений (ультрафиолетового, видимого, инфракрасного и радиодиапазонов волн), отличающийся тем, что усиливаемое излучение пропускают через среду в которой с помощью вспомогательного излучения или другим путем создают избыточную по сравнению с равновесной концентрацию атомов других частиц или их систем на верхних энергетических уровнях, соответствующих возбужденным состояниям“.

Эта формулировка практически охватывает все, что можно представить себе под термином „квантовое усиление“.

Исторически первым был создан генератор на базе аммиака (NH_3). Молекула его представляет собой автоколебательную систему, стабильность колебаний которой обеспечивается процессом самонастройки частоты. Атом азота совершает колебания между двумя положениями 1 и 2 через плоскость основания молекулы аммиака в узлах которой расположены атомы водорода. Эти колебания происходят со строго определенной частотой 23870 МГц . Радиоволны поля резонатора этой же частоты поглощаемые азотом поддерживают эти колебания. Процесс поглощения определяется нелинейной зависимостью частоты от параметра квантовой системы – диэлектрической проницаемости ϵ . Структурная схема такого генератора показана ниже на рис. 4.1.

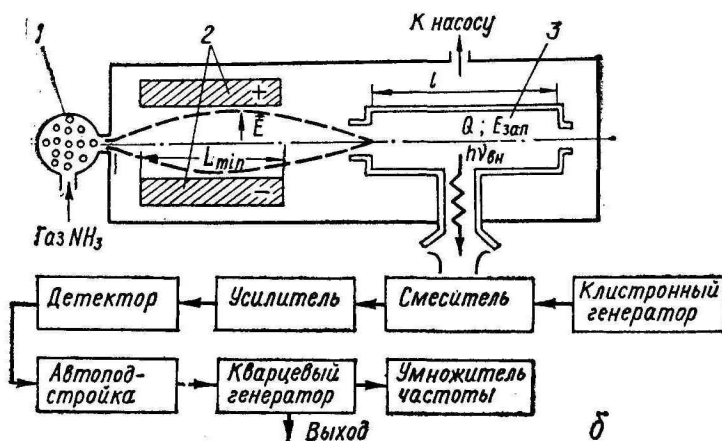


Рис.4.1. Схема аммиачного молекулярного генератора.

Молекулы аммиака выходя из точки 1 образуют направленный в сторону сортирующей системы (конденсатор 2) молекулярный пучок. Сортирующая система 2 удаляет молекулы, имеющие нижнее энергетическое состояние E_1 , оставляя и фокусируя в объемном резонаторе 3 молекулы, имеющие верхнее энергетическое состояние E_2 . В сортирующей системе неоднородное электрическое поле E на оси равно 0 и увеличивается с расстоянием от оси в результате молекулы аммиака, находящейся на верхнем энергетическом уровне E_2 перемещаются по оси системы, а молекулы находящиеся на E_1 рассеиваются. Инвертированные уровни E_2 и E_1 соответствуют двум противоположным ориентациям дипольного момента молекулы аммиака. Во внешнем электрическом поле E сортирующей системы происходит физический эффект Штарка, заключающийся в смещении и расщеплении энергетического уровня на подуровни под воздействием электрического поля. Отсортированные молекулы пролетают объемный резонатор. Часть из них за время пролета совершают акт вынужденного излучения на частоте квантового перехода $\nu_0=23870 \text{ МГц}$ и этим усиливают электромагнитное поле внутри резонатора. Следующие, влетающие новые порции молекул взаимодействуют с уже усиленным полем. Таким образом осуществляется положительная обратная связь, объединяющая акты излучения множества молекул, пролетающих через объемный резонатор, то есть реализуется условие, без которого не возможна работа квантового генератора. Резонатор, увеличивая время взаимодействия излучения с активной средой осуществляет усиление и формирует излучение электромагнитных волн требуемой стабильной частоты ν_0 определяемой:

$$\nu_0 = \nu \left(1 - \frac{\nu - \nu_p}{\nu} \cdot \frac{Q}{Q_L} \right),$$

где ν —частота спектральной линии; ν_p —собственная(резонансная) частота резонатора.

Добротность резонатора Q – отношение запасенной энергии электромагнитного поля к средней энергии, теряемой колебательной системой за один период колебания.

Добротность спектральной линии Q_л – это отношение резонансной частоты ν_0 к ее ширине $\Delta\nu_N$ на уровне половинной интенсивности.

Величину $\eta = \frac{\nu - \nu_0}{\nu}$ принято называть расстройкой резонатора. Для квантового генератора на молекулах аммиака $\eta = 10^{-11}$.

3. Классификация квантовых генераторов.

Квантовые приборы, устройства и системы в основном можно классифицировать следующим образом:

1. Квантовые стандарты длины, частоты и времени.
2. Квантовые усилители оптического (лазерные усилители) и СВЧ диапазона длин волн (молекулярные, парамагнитные).
3. Преобразователи частоты лазерного излучения.
4. Лазерные модуляционные устройства.
5. Лазерные системы (лидары, герометры, доплеровские измерители угловой скорости, системы оптической связи, оптические процессоры-вычислители).
6. Лазерные технологические методы и оборудование для обработки материалов.
7. Квантовые источники излучения – лазеры.

Наиболее обширным классом квантовых приборов являются лазеры которые в основном классифицируются по трем признакам:

1. режим работы;
2. типу активной среды;
3. способу накачки.

По *режиму работы* лазеры делятся на:

- генераторы непрерывного излучения (одно-, многомодовые и одночастотные);
- лазеры импульсного излучения (режим свободной генерации, модулярности, добротности, резонансные и многоимпульсные).

В качестве активных элементов для лазеров в настоящее время используется множество веществ. По *активной среде* лазеры подразделяются на четыре группы:

- твердотельные лазеры (на активированных стеклах, ионных кристаллах, флюоритах активированными редкоземельными элементами);
- газовые (атомарные, молекулярные, газодинамические, ионные, на парах металлов, химические, плазменные);
- жидкостные лазеры (на растворе неорганических соединений, органических соединений);
- полупроводниковые (инжекционные, гетероструктурные с распределенной обратной связью).

Для создания инверсии населенности в активной среде применяют различные *методы возбуждения* (накачки). По этому признаку лазеры распределяются на:

- лазеры с *оптической* накачкой;
- лазеры с *химической* накачкой;
- *газоразрядные* лазеры;
- лазеры с *электронной* накачкой;
- *плазменным* полем;
- *ядерная* накачка.

Поскольку создание изделий квантовой электроники является незавершенным, например, продолжающимся творческим процессом ученых, то приведенную классификацию нельзя считать окончательной. Наиболее вероятно, что дальнейшие исследования приведут к разработке новых типов квантовых приборов и систем.