

Письма в ЖЭТФ, том 18, вып. 3; стр. 156 – 160.

5 августа 1973 г.

**ТОНКОПЛЕНОЧНЫЙ ЛАЗЕР
С РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ,
ПРОМОДУЛИРОВАННОЙ ПО ВЕЛИЧИНЕ**

А. А. Зденко, А. М. Прохоров, В. А. Сычугов

Предложен и экспериментально осуществлен способ перестройки частоты генерации тонкопленочного лазера с распределенной обратной связью путем создания периодической пространственной модуляции величины обратной связи в пленке.

Интенсивные исследования оптических явлений в тонких диэлектрических пленках [1] привели в последнее время к созданию тонкопленоч-

ного лазера с распределенной обратной связью (РОС) [2]. Обратная связь в таком генераторе возникает вследствие брэгговского рассеяния света назад на периодических изменениях показателя преломления или коэффициента усиления самой усиливающей среды. Длина волны излучения лазера с РОС определяется соотношением:

$$\lambda = 2n^* \Lambda,$$

где n^* – эффективный показатель преломления волноводной пленки, Λ – период пространственной модуляции либо n^* , либо коэффициента усиления k . Изменением периода Λ или величины n^* можно перестраивать частоту излучения такого генератора. Обычно в перестраиваемых лазерах с РОС обратная связь создается путем пространственной модуляции коэффициента усиления, для чего используется накачка двумя когерентными пучками света, сходящимися на поверхности пленки, под углом 2θ [3]. Перестройка частоты в этом случае достигается изменением угла θ , т. е. периода Λ .

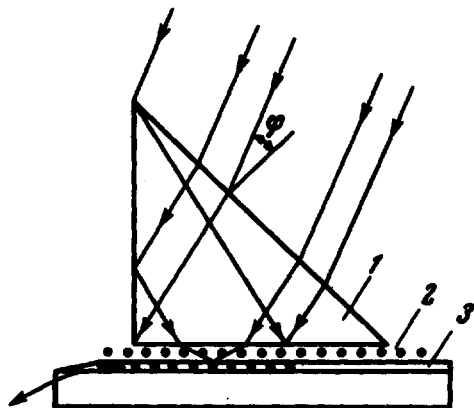


Рис. 1. Схема эксперимента: 1 – призма, 2 – проволоочная сетка, 3 – активированная пленка

Изменение величины эффективного показателя преломления можно осуществить несколькими путями: изменением толщины пленки, показателя преломления подложки и т. д. [1]. В работе [5], в частности, получена перестройка частоты генерации в пленке, подложкой для которой служил анизотропный кристалл. Изменение направления генерации по отношению к оси кристалла приводило к изменению n^* и, следовательно, частоты генерации.

В настоящем сообщении предлагается осуществлять перестройку частоты генерации тонкопленочного лазера с РОС путем создания пространственной модуляции величины обратной связи в пленке. Как известно [6], величина РОС определяется амплитудой периодических изменений эффективного показателя преломления Δn^* или коэффициента усиления Δk . Если эти амплитуды пространственно промодулированы с периодом $\Lambda' \gg \Lambda$, то в пленке наряду с решеткой периоды Λ , будут образованы решетки с периодами $\Lambda_n = \Lambda(1 \pm n\Lambda/\Lambda')$, где $n = 1, 2, 3, \dots$. В случае если длины волн излучения, определяемые этими решетками попадают в полосу усиления пленки, в ней при соответствующем уровне накачки может возникать генерация на этих длинах волн. Перестройка частоты генерации может осуществляться в этом случае изменением периода Λ' .

Для того, чтобы показать возможность использования предлагаемого метода перестройки частоты, нами был проведен эксперимент, в котором реализована модуляция величины обратной связи, создаваемой двумя интерферирующими на поверхности пленки пучками света. Схема эксперимента приведена на рис. 1. Делителем пучка света накачки с $\lambda = 0,347 \text{ мкм}$ (вторая гармоника рубинового лазера с модуляцией добротности) служила прямоугольная кварцевая призма, которая располагалась на расстоянии $\sim 25 \text{ мкм}$ от поверхности пленки. Пленка (толщиной $h = 0,9 \text{ мкм}$) из полиметилметакрилата, активированная родмином-6G (концентрация $7,5 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л}$), была нанесена на подложку из плавленного кварца. Между пленкой и призмой помещалась проволоочная сетка, ($\Lambda' = 40, 60, 84 \text{ мкм}$) создававшая пространственную модуляцию величины обратной связи. Излучение генерации выходило через суживающийся край пленки и регистрировалось на спектрографе ДФС-8. На рис. 2 показан спектральный состав излучения тонкопленочного лазера при различных периодах сеток ($60, 84 \text{ мкм}$).

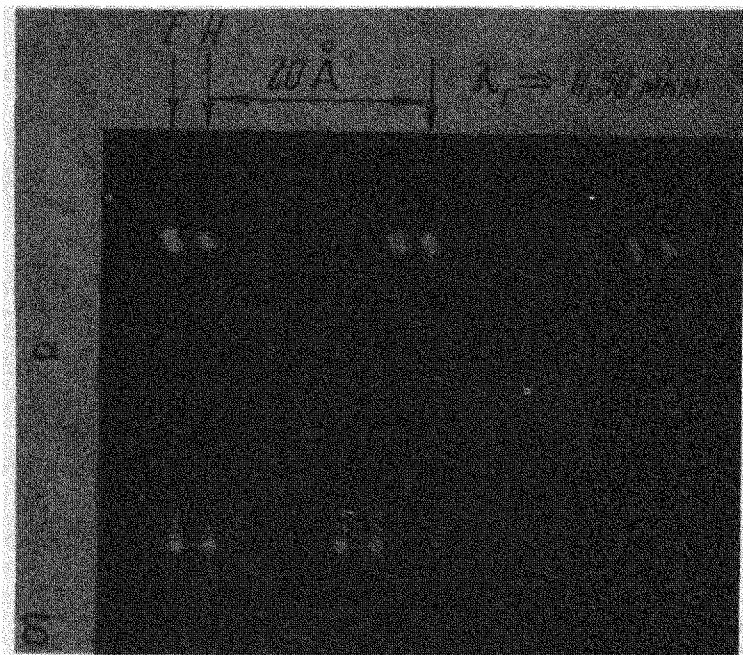


Рис. 2. Спектры генерации тонкопленочного лазера

В нашем случае модуляция света накачки имеет прямоугольный характер, и поэтому следовало ожидать, по крайней мере, появления трех частот (для $n = 0, \pm 1$). Однако, чаще всего их было две, что связано с меньшей (по отношению к основной решетке $n = 0$ приблизительно в 1,5 раза) амплитудой смещенных по периоду решеток ($n = \pm 1$), с частотной зависимостью коэффициента усиления и с уровнем накачки. На рис. 3 схематически представлен контур усиления в пленке, относительные амплитуды решеток и длины волн генерации. В центре полосы люминесценции при небольших уровнях накачки генерация происходит на одной частоте, справа и слева от центра полосы — на двух. При больших уровнях накачки генерация может быть получена сразу на трех и большем числе частот.

На рис. 2, а приведен спектр генерации, реализованный в коротковолновой области полосы люминесценции, третья частота соответствует генерации на решетке с периодом $\Lambda_2 = \Lambda(1 + 2\Lambda/\Lambda')$. На рис. 2, б показан спектр генерации, полученной при повороте проволочной сетки ($\Lambda' = 60 \text{ мкм}$) на угол $\psi = 45^\circ$ по отношению к направлению генерации. Этот эксперимент демонстрирует возможность плавной перестройки частоты генерации путем поворота проволочной сетки, который равносителен увеличению периода $\Lambda'_\psi = \Lambda'/\sin \psi$. Для получения одночастотного режима работы перестраиваемого лазера (под одночастотным здесь имеется в виду генерация E и H волн одновременно) необходимо выбрать период Λ основной решетки так, чтобы соответствующая ей частота не попадала в полосу усиления (см. рис. 3), а период Λ' так, чтобы смещенная была внутри его.

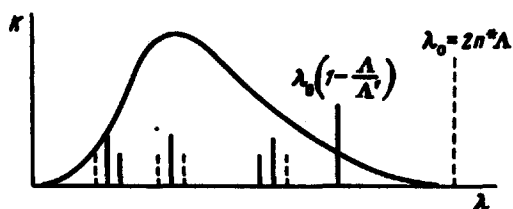


Рис. 3. Сплошными вертикальными линиями обозначены длины волн генерации

В работе [7] показано, что для гофрированной пленки, толщина которой периодически меняется $h = h_0 [1 + \mu \cos(2\pi/\Lambda' x)]$, собственным решением является суперпозиция пространственных гармоник, фазовые константы которых определяются соотношением

$$\beta_n = \beta \pm n \frac{2\pi}{\Lambda'}$$

где $n = 1, 2, 3, \dots$

Очевидно, если в таком волноводе создать распределенную обратную связь, то можно получить генерацию одновременно на нескольких частотах, и все, что говорилось выше о перестройке частоты приложить к этому случаю.

В перспективе желательно иметь электронную перестройку частоты генерации тонкопленочного лазера с РОС, используя, например, акустооптику, и, по-видимому, принцип модуляции величины обратной связи может быть положен в основу дальнейших разработок электронной перестройки частоты лазера.

Физический институт
им. П.Н.Лебедева
Академии наук СССР

Поступила в редакцию
7 июня 1973 г.

Литература

- [1] P.K.Tien. Appl. Optics, 10, 2395, 1971.
- [2] H.Kogelnik, C.V.Shank. Appl. Phys. Lett., 18, 152, 1971.
- [3] J.E.Bjorkholm, C.V.Shank. IEEE J.Quantum Electronics, QE-8, 833, 1972.

- [5] J.E.Bjorkholm, T.P.Sosnowski, C.V.Shank. Appl. Phys. Lett., 22, 132, 1973.
- [6] H.Kogelnik, C.V.Shank. J.Appl. Phys., 43; 2327, 1972.
- [7] S.Somekh, A.Yariv. Appl. Phys. Lett., 21, 140, 1972.
-