

Рисунок 2 – Рассчитана зависимость мощности излучения (в мкВт), которая проходит через биологический объект от интенсивности лазера на выходе световода для сала свиного толщиной: 1 – 1 мм; 2 – 2 мм; 3 – 3 мм; 4 – 4 мм; 5 – 5 мм

Анализ полученных зависимостей и проведенных исследований показывают, что увеличение мощности лазерного излучения, проходящего сквозь биологический объект, при увеличении мощности падающего излучения носит ярко выраженный экспоненциальный характер.

Предложенная математическая модель позволяет с достаточной точностью определить мощность излучения, прошедшего сквозь биологический объект, отклонение рассчитанных значений от экспериментальных составляет ± 5 мкВт.

УДК: 621.373:535

КОНКУРЕНЦИЯ НЕЛИНЕЙНОЙ АНИЗОТРОПИИ АКТИВНОЙ СРЕДЫ И АНИЗОТРОПИИ РЕЗОНАТОРА В ЛАЗЕРНЫХ СИСТЕМАХ

Свирина Л.П.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Поляризация генерируемого излучения в лазере определяется совокупным влиянием анизотропии активной среды и анизотропии резонатора. Анизотропия среды определяется квантовомеханическими свойствами атомов и молекул активного вещества и носит нелинейный характер. Она возникает в результате взаимодействия генерируемого излучения со средой и зависит от интенсивности и поляризационных характеристик излучения. Например, для гелий-неоновых лазеров анизотропия среды обладает линейным и круговым дихроизмом и двулучепреломлением. В такой среде без изменения состояния поляризации могут распространяться ортогональные линейно (или циркулярно) поляризованные волны. Анизотропия резонатора создается помещением внутрь него анизотропных элементов (поляризаторов, четвертьволновых пластинок, и др.). Внешние поля, например, продольное магнитное поле, могут

Исследован характер изменения мощности ЛИ в зависимости от толщины при прохождении через сало свиное, и переменных мощностях излучения. Полученные данные будут использованы для создания физиотерапевтического аппарата с системой обратной связи, которая позволит в реальном времени автоматически вносить изменения в параметры проведения физиотерапевтической процедуры и улучшить лечебный эффект.

1. Терещенко М. Ф. Оцінка та контроль ефективності впливу на біологічний об'єкт лазерним випромінюванням / М. Ф. Терещенко, С. П. Якубовський // Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування. 2012. Вип. 44. С. 141 – 148.
2. Терещенко М. Ф. Контроль дози лазерного опромінення біологічних тканин температурним методом / М. Ф. Терещенко, І. В. Максимчук, Л. А. Мамедова, С. П. Якубовський // Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування. – 2013. – Вип. 45. – С. 175–180.
3. Тимчик Г. С. Моніторинг зміни температур при лазерній терапії / Тимчик Г. С., М. Ф. Терещенко, Печена М. Р. // Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування. – 2014. – Вип. 47. – С. 156–162.
4. Терещенко М. Ф. Дослідження впливу лазерного випромінювання на температурні процеси в біологічних тканинах / М. Ф. Терещенко, Тимчик Г. С., Ляшенко О. Г., Гнатейко О. С. // Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування. 2015. – Вип. 49(1). – С. 153–158.
5. Терещенко Н. Ф. Использование программно-аппаратного комплекса CARDIOMOOD в оценке действия лазерного излучения на состояние вегетативной нервной системы человека / Н. Ф. Терещенко, Апыхтин К. А., Прендиок О. С., Махия Н. В. // Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування. – 2015. – Вип. 50(2). – С. 160–169

налагаться как на активную среду, так и на элементы резонатора.

Если анизотропия среды и резонатора одинаковая, например, круговая (линейная), то поляризация генерируемого излучения будет круговой (линейной). Если же анизотропия среды круговая, а резонатора линейная, то поляризация генерируемого излучения будет зависеть от соотношения величины анизотропии среды и резонатора. Если анизотропия среды намного больше анизотропии резонатора, то поляризация генерируемого поля будет определяться средой. Если анизотропия резонатора намного больше анизотропии среды, что наиболее часто реализуется в лазерных приборах, то поляризация генерируемого поля будет определяться резонатором. Например, линейная поляризация излучения промышленного гелий-неонового лазера достигается за счет расположения окон газоразрядной трубки под углом Брюстера.

При сопоставимых по величине анизотропии среды и резонатора и сильно различающихся типах анизотропии (у среды – круговая, у резонатора – линейная) возможно нестационарное поведение поляризации, которое возникает в результате потери устойчивости стационарного режима генерации и возникновения устойчивых автоколебаний. Данное явление получило название конкуренции анизотропии среды и анизотропии резонатора, или поляризационной неустойчивости.

Целью настоящей работы является описание автоколебательных режимов генерации для различных типов анизотропии среды и анизотропии резонатора.

Теоретическое исследование проведено на основе разработанной и экспериментально апробированной модели одномодового двухчастотного газового лазера с произвольной величиной и типом анизотропии резонатора [1]:

$$\begin{aligned} \frac{dI_1}{d\tau} + 2iI_1 \frac{d\Psi_1}{d\tau} - 2I_1 i(\omega_1 - \omega_{1c}) \frac{Lc}{\tau_0} = \\ = -2I_1(i \operatorname{th} 2\beta_1 \frac{d\gamma_1}{d\tau} + i \frac{\bar{V}_1}{P} + \frac{P_1}{P} + \\ + \frac{\Delta W_1}{P} \operatorname{th} 2\beta_1 - m_1 - I_1 \varrho_{11} - I_2 \varrho_{12}), \\ \frac{dI_2}{d\tau} + 2iI_2 \frac{d\Psi_2}{d\tau} - 2I_2 i(\omega_2 - \omega_{2c}) \frac{Lc}{\tau_0} = \\ = -2I_2(i \operatorname{th} 2\beta_2 \frac{d\gamma_2}{d\tau} + i \frac{\bar{V}_2}{P} + \frac{P_2}{P} + \\ + \frac{\Delta W_2}{P} \operatorname{th} 2\beta_2 - m_2 - I_2 \varrho_{22} - I_1 \varrho_{21}), \\ \frac{dz_1}{d\tau} = n_1 + i \frac{\Delta W_1}{P} + I_1 \rho_{11} + I_2 \rho_{12}, \\ \frac{dz_2}{d\tau} = n_2 + i \frac{\Delta W_2}{P} + I_2 \rho_{22} + I_1 \rho_{21}. \end{aligned}$$

Здесь $I_{1,2}$ – безразмерные интенсивности, $\Psi_{1,2}$ – фазы волн генерируемых волн 1, 2, $z_{1,2} = \gamma_{1,2} + i\beta_{1,2}$ – комплексные параметры поляризации, $\gamma_{1,2}$ – азимуты, $\xi_{1,2} = \operatorname{th} \beta_{1,2}$ – эллиптичности. Остальные обозначения аналогичны принятым в [1].

Численное интегрирование уравнений генерации проведено для параметров He Ne ($\lambda = 0.63$ мкм) лазера для различных переходов между рабочими уровнями среды и различных типов анизотропии резонатора, которая изменяется от линейной до циркулярной.

Тип перехода между рабочими уровнями активной среды определяет анизотропию и собственные состояния поляризации среды. При этом, как показано в [2], собственными состояниями поляризации активной среды двухчастотного лазера для $j \leftrightarrow j$ переходов (j – главное квантовое число) являются ортогональные линейно поляризованные волны, а для переходов $j \leftrightarrow j+1$ – ортогональные циркулярно

поляризованные волны, возникающие вследствие снятия вырождения лазерной моды при переходе от одночастотного режима, характерного для лазера с изотропным резонатором, к двухчастотному режиму, обусловленному появлением фазовой анизотропии.

Собственные состояния поляризации резонатора и тип перехода в среде показаны наверху каждой колонки.

Рисунок 1 иллюстрирует автоколебательные режимы генерации для перехода $j \leftrightarrow j+1$ в среде в случае линейных (слева) и эллиптических (справа) собственных векторов матрицы резонатора с малой эллиптичностью. Эллиптические состояния поляризации создаются при помещении в резонатор линейной и циркулярной фазовых пластинок; ψ и ϕ – величины линейной и циркулярной фазовой анизотропии резонатора, соответственно. Как видно из рисунка, в случае линейной фазовой анизотропии резонатора, ($\psi \neq 0, \phi = 0$) имеют место периодические изменения во времени всех характеристик лазерного излучения: интенсивностей $I_{1,2}$ (а), азимутов $\gamma_{1,2}$ (б) и эллиптичностей $\xi_{1,2}$ (в). При этом состояние поляризации излучения периодически изменяется от линейного к круговому и обратно.

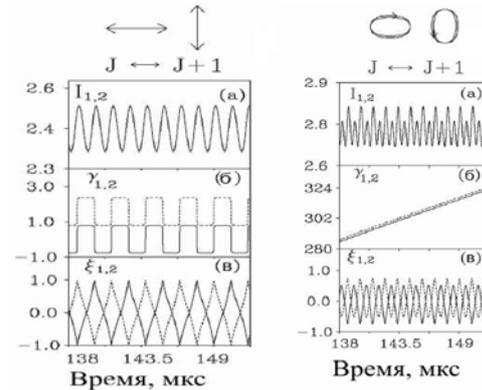


Рисунок 1 – Автоколебания для $j \leftrightarrow j+1$ переходов между рабочими уровнями среды

На рисунке 2 показаны автоколебательные режимы генерации для перехода $j \leftrightarrow j$ в среде в случае эллиптических ($\psi \neq 0, \phi \neq 0$) с большими значениями эллиптичности (слева) и циркулярных (справа, $\psi = 0, \phi \neq 0$) собственных векторов матрицы резонатора. Как видно из рисунка, в первом случае наблюдаются автоколебания второго рода с колебаниями интенсивностей и эллиптичностей волн генерации и вращающимися азимутами, а во втором случае интенсивности и эллиптичности постоянны при вращающихся азимутах.

Автоколебания, показанные на рисунке 1 (слева и справа) обнаружены и изучены экспериментально в [2–4], режим генерации, приведенный на рисунке 2 (справа) обнаружен в [5], количественное сопоставление теории с экспериментом проведено в [4].

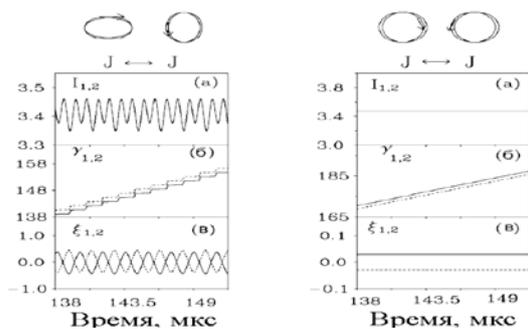


Рисунок 2 – автоколебания для $j \leftrightarrow j$ переходов между рабочими уровнями среды

1. Svirina, L.P. A two-frequency gas laser with weakly anisotropic cavity / L.P. Svirina // Opt. Commun. – 1994. – Vol. 111, № 2. – P. 380–390.
2. Le Floch, A. Dynamics of laser eigenstates / A. Le Floch, G. Ropars, J.M. Lenormand, and R. Le Naour // Phys. Rev. Lett. – 1984. – Vol. 52, № 1. – P. 918–921.
3. Puccioni, J.P. Differences in polarization dynamics of the electromagnetic field in xenon and neon lasers / J.P. Puccioni, J.L. Lippi, N.B. Abraham, and F.T. Arecchi // Opt. Commun. – 1989. – Vol. 72. – P. 361–366.
4. Svirina, L.P. Spontaneous pulsations in gas class-A lasers with weakly anisotropic cavities / L.P. Svirina, V.G. Gudelev, and Yu. P. Zhurik // Phys. Rev. A – 1997. – Vol. 56, № 6. – P. 5053–5065.
5. Cottervert, J.C. Dynamics of circularly polarized eigenstates in lasers with nonweak atomic coupling / J.C. Cottervert, F. Bretenaker, and Le Floch A. // Opt. Lett. – 1991. – Vol. 16, № 8. – P. 572–574.

УДК 621.373.826

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЛАЗЕРНЫМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ПОВЕРХНОСТНОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ С ОБУГЛИВАНИЕМ

Усольцева А.В.

*Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова
Ижевск, Российская Федерация*

Любая отрасль мировой экономики зависит от материалов и техники, используемых в процессе производства. В производстве используются различные материалы, одними из наиболее распространенных, используемых во многих сферах, с учетом функциональной, эстетической и экологической точек зрения, в первую очередь, выделяются натуральные материалы, термическое воздействие на которые сопровождается их почернением, уменьшением содержания водорода, кислорода и увеличением углерода (древесина, пластик, натуральная и искусственная кожа, кость и т.д.). Создание уникальной продукции высокого уровня напрямую связано с постоянным развитием и усложнением методов, используемых для разработки, а также с применением прогрессивных инновационных технологий производства. В таком случае результат работы будет определяться гармоничным развитием технических решений, использованных при разработке новой продукции. Довольно часто не удается реализовать потенциальные возможности с качеством продукции, предусмотренным проектом, в связи с недостаточной изученностью технологических возможностей инновационных наукоемких технологий и отсутствием технологических рекомендаций для их применения. Качество продукции обеспечивается выполнением соответствующих требований к качеству составляющих, точности выполнения технических условий, технологических режимов, размеров, отклонений от формы, взаимного расположения, состояния обработанных поверхностей.

Повышение качества поверхностного слоя является актуальной проблемой технологии, решение которой требует опережающего подхода

в условиях быстрого технического развития и рыночной экономики, породившей острую конкуренцию среди производителей. Большинство процессов поверхностной обработки материалов имеют термическую природу, любая структура, любое состояние материала определяется четырьмя основными характеристиками теплового состояния: температура нагрева, скорость нагрева, время нагрева, скорость охлаждения.

Широкое распространение в промышленности получают лазерные технологии. Эффективность лазерных технологий обусловлена высокой плотностью потока энергии лазерного излучения в зоне обработки, возможностью фокусировки излучения с помощью оптических систем в световой луч диаметром в сотые доли миллиметра, возможностью ведения технологических процессов в любой прозрачной среде, малой зоной прогрева, обеспечиваемой кратковременным воздействием излучения, а также возможностью бесконтактной подачи энергии к зоне обработки в замкнутом объеме. Посредством лазерного излучения осуществляют резку, сверление отверстий, термическую обработку, гравирование, маркирование и многие другие технологические операции. Лазерное излучение существенно превосходит другие источники энергии, что позволяет не только значительно увеличить производительность обработки, но и получать качественно новые результаты по свойствам поверхности обрабатываемых материалов. В этой связи лазерный луч как источник нагрева имеет как общие особенности, свойственные всем другим высококонцентрированным источникам, так и свои специфические преимущества. Тем не менее для поверхностной обработки материалов с обугливанием лазерное излучение применяется