



СЫН ТИТАНА: ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧНЫЙ ЛАЗЕР TISON GSB НА КОРУНДЕ С ТИТАНОМ С ПЕРЕСТРОЙКОЙ ДЛИНЫ ВОЛНЫ В ШИРОКОМ ДИАПАЗОНЕ

Д.А.Ульянов, ulyanov@laser-export.com,
И.И.Куратов, Р.С.Бирюков, В.А.Коновалов,
Е.И.Федина, ЛАЗЕР-КОМПАКТ,
ООО "Лазер-экспорт", Москва

Мы разработали лазер на корунде с титаном с модуляцией усиления, с перестройкой длины волны в широком диапазоне, специально для фотоакустических применений. Лазер излучает импульсы с энергией до 200 мкДж, длительностью короче 10 нс, шириной линии примерно 0,5 нм и частотой повторения 1 кГц. Длина волны может перестраиваться в диапазоне 710–890 нм. Длины волн переключаются в любом порядке, со временем переключения короче 50 мс.

Фотоакустика (ФА), или оптоакустика, становится наиболее быстро прогрессирующим методом 21-го века получения изображений в медицине, по причине возможности получения изображений с высоким пространственным разрешением объектов, находящихся в тканях на глубине, не достигаемой для чисто оптических методов [1]. Для получения ФА-изображения поверхность исследуемого образца облучается импульсным лазером, далее детектируются возникающие акустические волны, излученные областями поглощения, находящимися внутри образца. В связи с достаточно большой глубиной проникновения света внутрь биологических тканей (доходящей до нескольких сантиметров, несмотря на сильное рассеивание) на длинах волн 700–900 нм, лазеры, работающие в этом диапазоне, являются наиболее часто используемыми для биомедицинских применений. За последние 20 лет

SON OF TITAN: BROADLY TUNABLE HIGH ENERGY NANOSECOND TI:SAPPHIRE LASER TISON GSB

D.A.Oulianov, ulyanov@laser-export.com,
I.I.Kuratev, R.S.Biryukov, V.A.Kononov, E.I.Fedyna,
LASER-COMPACT, Laser-export, Moscow

A novel broadly tunable gain-switched Ti:Sapphire laser has been developed specifically for photoacoustic imaging applications. The laser outputs up to 200 mJ pulse energies with shorter than 10 ns pulse durations and 0.5 nm line width at 1 kHz repetition rate. Wavelength is electronically tuned in the range of 710–890 nm. Random wavelength access is possible with less than 50 ms switching time per any wavelength change.

Photoacoustic (PA) or optoacoustic imaging becomes one of the fastest growing medical imaging techniques in the 21st century due to its ability to produce high spatial resolution images of tissues at deep depths unachievable by optical methods [1]. PA imaging utilizes a high energy laser illuminating the surface of the object under study followed by detection of acoustic waves generated by absorbed regions inside the object. Because of relatively deep light penetration of several cm into biological tissues and availability of high energy sources, the wavelength range of 700–900 nm is the most used region for PA imaging for biomedical applications. Many different techniques and variations of PA imaging has been introduced during the past two decades. Among them multi-wavelength (or multi-spectral) PA tomography and microscopy that have been gaining a lot of attention recently [2]. These techniques are based on PA signal detection generated by pulses of several different wavelengths simultaneously or sequentially exciting the object. Since absorption of different biological objects has strong wavelength selectivity, by choosing the right wavelength it is possible to significantly increase contrast of object of interest and by using several different wavelengths get an image of several objects in a single frame. In order to do such a measurement a high energy tunable laser is required. In case of live object study in order to prevent distortion due to breathing or blood pulsation this laser should



Рис.1. Излучатель лазера TiSon GSB
Fig. 1. Photo of TiSon GSB laser head

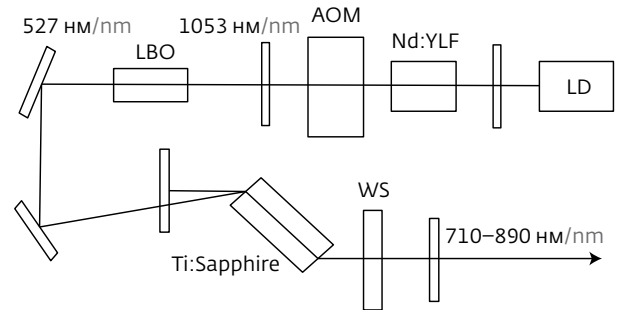


Рис.2. Оптическая схема лазера: LD – лазерный диод, AOM – акусто-оптический модулятор, WS – селектор длины волны

Fig. 2. Laser optical scheme: LD – laser diode, AOM – acousto-optical modulator, WS – wavelength selector

было предложено множество разных технологий ФА. Среди них мультиволновая (мульти-спектральная) фотоакустическая томография и фотоакустическая микроскопия в последнее время вызывают наибольший интерес [2]. Эти методы основаны на одновременном или последовательном детектировании акустического сигнала от нескольких длин волн. В связи с тем, что спектральные зависимости поглощения разных биообъектов сильно различаются, подбором длины волны можно значительно улучшить контраст измеряемого объекта, а возбуждая объект на нескольких длинах волн, получить изображение разных объектов в одном снимке. Для проведения таких измерений требуется перестраиваемый лазер. При проведении исследований

also have fast wavelength switching available. The required energies are varying in the range of 0.1–100 mJ depending on the object studied and PA technique used. Another important laser requirement is short pulse duration which directly impacts the spatial resolution and usable acoustic wave bandwidth (e.g. less than 10 ns is usually needed for PA microscopy). In order to increase signal to noise ratio kHz pulse repetition rates are also desired.

In order to address the above requirements we have developed a tunable gain-switched Ti: Sapphire laser TiSon GSB (see Fig.1). The basic laser optical scheme is shown in Fig.2. We use a frequency doubled actively Q-switched diode-pumped Nd: YLF laser as a pump laser. It generates 1.0 mJ pulse energies at 527 nm. These pulses are focused into a Brewster cut Ti: Sapphire crystal placed into a resonator. A typical

живых объектов, для того чтобы не возникло помех, связанных с дыханием или пульсом, скорость перестройки такого лазера должна быть достаточно быстрой. Необходимая энергия лазерного импульса обычно находится в диапазоне 0,1-100 мДж и зависит как от изучаемого объекта, так и от используемого ФА-метода. Также требуется, чтобы длительность лазерного импульса была достаточно короткой (например, для ФА-микроскопии обычно необходимы импульсы короче 10 нс). Длительность лазерного импульса непосредственно определяет пространственное разрешение и диапазон частот акустических волн. Для повышения отношения сигнал-шум, частота повторения должна находиться в килогерцевом диапазоне.

Мы разработали перестраиваемый лазер TiSon GSB на корунде с титаном с модуляцией усиления, который удовлетворяет вышеперечисленным требованиям (рис. 1). Упрощенная оптическая схема лазера приведена на рис.2. В качестве накачки была использована вторая гармоника излучения лазера на кристалле Nd:YLF с диодной накачкой с активной модуляцией добротности. Импульсы накачки, энергия которых составляла 1,0 мДж на длине волны 527 нм, фокусировались в помещенный в резонатор кристалл корунда с титаном, вырезанный под углом Брюстера. Типичная перестроечная кривая лазера приведена на рис.3. Максимальная энергия на выходе достигала 215 мкДж на длине волны 800 нм, при длительности импульса 5 нс, на частоте повторения 1 кГц. При перестройке длины волны вблизи концов рабочего диапазона длительность импульса несколько уширялась, оставаясь, тем не менее, короче 10 нс во всем диапазоне перестройки (рис.4). Ширина линии равнялась примерно 0,5 нм для всех длин волн. Профиль выходного пучка - TEM₀₀ мода с параметром $M^2 < 1,2$ на всех длинах волн. На рис.5 показаны профили пучка, измеренные с помощью профилометра BeamStar компании Ophir-Spiricon на длинах волн 720, 750, 800, 850 и 880 нм. Перестройка длины волны осуществлялась специализированным электронным селектором длины волны, помещенным внутрь резонатора. Данный селектор длины волны контролировался с помощью ПК и позволял переключаться между любыми длинами волн рабочего диапазона за время короче 50 мс. TiSon GSB выпускается в двух модификациях: (а) с выводом

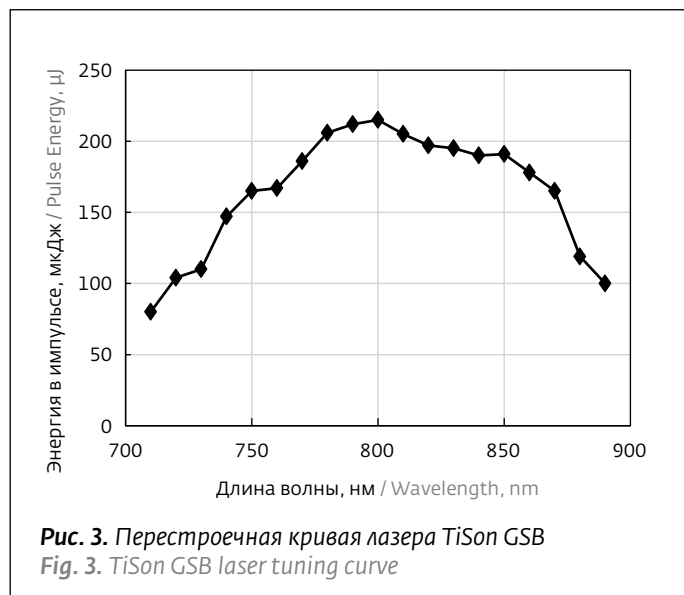


Рис. 3. Перестроечная кривая лазера TiSon GSB
Fig. 3. TiSon GSB laser tuning curve

tuning curve of TiSon GSB is shown in Fig. 3. The pulse energy peaks at 800 nm and equals to 215 mJ with 5 ns pulse duration at 1 kHz repetition rate. Even though the pulse duration somewhat increases at the ends of the tuning curve it still remains below 10 ns in the full tuning range (Fig.4). Laser line width equaled to about 0.5 nm for all wavelengths. The beam is a perfect TEM₀₀ mode with $M^2 < 1,2$ at all wavelengths. Fig.5 shows beam profile images measured by BeamStar beam profiler by Ophir-Spiricon at 720, 750, 800, 850 and 880 nm. Wavelength tuning is done by a proprietary wavelength selector placed into Ti:Sapphire resonator. The wavelength selector allows for a PC controlled wavelength switching with less than 50 ms time per any wavelength change. TiSon GSB is available with either air or 400 mm fiber output. Work on a higher energy model and even faster wavelength switching is in progress.

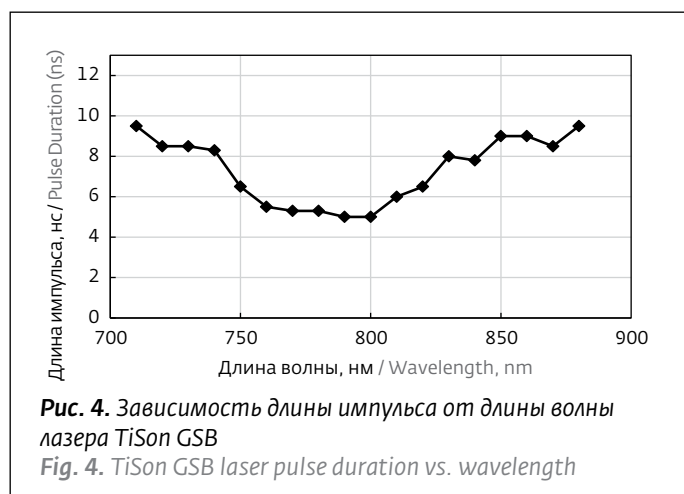


Рис. 4. Зависимость длины импульса от длины волны лазера TiSon GSB
Fig. 4. TiSon GSB laser pulse duration vs. wavelength

излучения через выходное окно и (б) с волоконным выводом (в 400 мкм пачкорд). В данный момент мы работаем над новой моделью лазера с большей энергией в импульсе и с еще более быстрым переключением между длинами волн.

TiSon GSB имеет ультракомпактный размер, включает в себя лазер накачки и лазер на корунде с титаном, которые объединены в едином корпусе. Размеры излучателя и блока питания составляют 237×56×165 and 230×80×193 мм³, соответственно. И для блока питания, и для излучателя используется воздушное охлаждение. Лазер имеет прочную конструкцию, высокую стабильность и надежность и может использоваться как для промышленных, так и научных применений.

ЛИТЕРАТУРА

1. **M. Xu, L. V. Wang.** Photoacoustic imaging in biomedicine. – Rev. Sci. Instrum., 2006, v. 77, p. 041101-1-22.
2. **Taruttis A., Ntziachristos V.** Advances in real-time multispectral optoacoustic imaging and its applications. – Nat. Photonics, 2015, v. 9, p. 219-227.

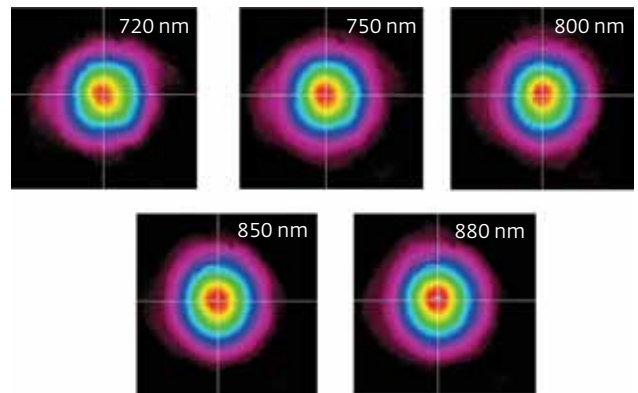


Рис. 5. Профили пучка на длинах волн 720, 750, 800, 850 и 880 нм

Fig. 5. Beam profiles at 720, 750, 800, 850 and 880 nm

TiSon GSB have an ultra-compact footprint and contain both pump and Ti: Sapphire lasers in one housing. The laser head and the power supply dimensions are 237×56×165 and 230×80×193 mm³ respectively. Both the power supply and the laser head are air-cooled. The laser has rugged design, high stability and reliability. It may be employed for both industrial and scientific applications.