



УЛЬТРАФИОЛЕТОВАЯ ЛАЗЕРНАЯ РЕЗКА

С. Н. Шелыгина^{1,2}, А. А. Акимов¹,
Н. В. Буров¹, info@lenlasers.ru, Д. С. Шаймадиева^{1,2},
Карри Рао³, neo@huaraylaser.com

¹ АО «Ленинградские лазерные системы», Санкт-Петербург, Россия

² Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

³ HUARAY PRECISION LASER CO., LTD, Ухань, Нуабей, Китай

Ультрафиолетовые лазеры имеют ряд преимуществ на рынке микрорезки металлических и неметаллических материалов. Стабильность и надежность лазерных инструментов в сочетании с точностью обработки и низкими механическими напряжениями позволяют этим лазерам выйти на рынок микроэлектронного производства. Благодаря гибкости в работе с широким спектром материалов УФ-лазеры легко адаптируются к требованиям технологических процессов и встраиваются в линии быстрой и точной лазерной обработки в производстве микроэлектроники. В статье представлены возможности твердотельных УФ-лазеров с диодной накачкой с излучением на длине волны 355 нм.

Статья поступила в редакцию 15.04.2019

Статья принята к публикации 30.04.2019

Быстрое развитие электронной промышленности, прецизионного приборостроения, разработка новых материалов со специальными свойствами, например, с высокой термостойкостью и прочностью, требуют новых методов микрообработки, обеспечивающих высокую точность и эффективность. Лазерная резка обладает преимуществами перед механическими методами резки: она бесконтактна и не создает механических напряжений, которые могут повредить изделие.

Традиционно в промышленности применяются лазерные источники с излучением ближнего ИК- (волоконные лазеры, 1064 нм) и дальнего ИК-диапазонов (CO₂-лазеры, 10,6 мкм). Выбор типа источника зависит от коэффициента поглощения излучения того или иного материала на определенной длине волны: для металлов это

ULTRAVIOLET LASER CUTTING

S. N. Shelygina^{1,2}, A. A. Akimov¹,
N. V. Burov¹, info@lenlasers.ru, D. S. Shaimadieva^{1,2},
Karri Rao³, neo@huaraylaser.com

¹ JSC «Leningrad Laser Systems», St. Petersburg, Russia

² ITMO University, St. Petersburg, Russia

³ HUARAY PRECISION LASER CO., LTD, Wuhan, Nuobei, China

Ultraviolet lasers have a number of advantages in the market of microcutting of metallic and nonmetallic materials. The stability and reliability of laser instruments combined with machining accuracy and low mechanical stresses allow these lasers to enter the microelectronic manufacturing market. Due to the flexibility in working with a wide range of materials, the UV lasers easily adapt to the requirements of technological processes and are integrated into fast and accurate laser processing lines in the production of microelectronics. The possibilities of solid-state UV-lasers with diode pumping with radiation at a wavelength of 355 nm are given in the article.

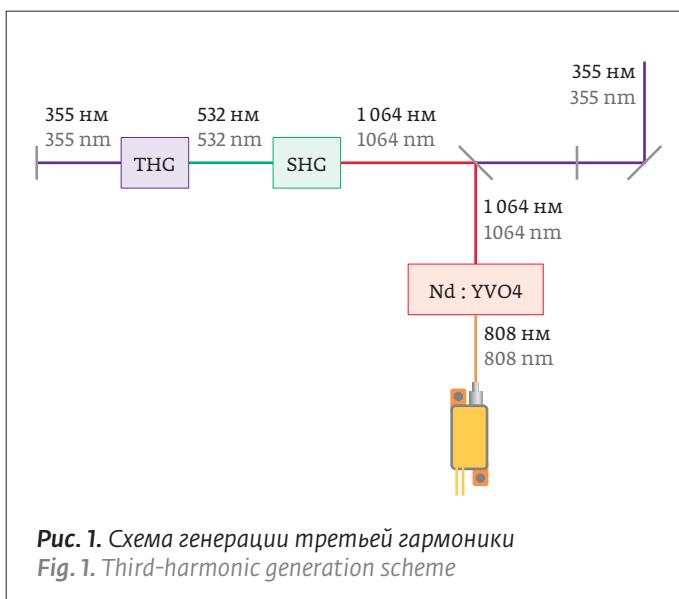
Article received for editing 15.04.2019

Article accepted for publication 30.04.2019

The rapid development of the electronics industry, precision instrument-making, the development of new materials with special properties, for example, high heat resistance and durability, requires new micro-processing methods that provide high accuracy and efficiency. Laser cutting has advantages over mechanical cutting methods: it is contactless and does not create mechanical stresses that can damage the product.

Conventionally, in industry, laser sources with radiation of near-IR (fibre lasers, 1064 nm) and far-IR ranges (CO₂ lasers, 10.6 μm) are used. The choice of the type of source depends on the absorption coefficient of the radiation of a material at a specific wavelength: for metals, these are fibre lasers with 1064 nm, non-metals - CO₂ lasers with 10.6 μm.

But the processing of special materials such as sapphire, various glasses, polymer films, printed circuit boards, semiconductor materials, etc. has higher requirements that cannot be provided by the aforementioned laser sources. In the production of such products cutting is the main operation.



волоконные лазеры с 1064 нм, неметаллов – CO₂-лазеры с 10,6 мкм.

Но обработка специальных материалов, таких как сапфир, различные стекла, полимерные пленки, печатные платы, полупроводниковые материалы и т. д. имеет более высокие требования, которые не могут обеспечить вышеупомянутые лазерные источники. В производстве таких изделий резка является основной операцией.

Использование систем для лазерной резки с излучением ультрафиолетового диапазона открыло новые возможности обработки специальных материалов. Для получения ультрафиолета необходима более сложная конфигурация лазера. Для генерации третьей гармоники (355 нм) в твердотельном лазере с диодной накачкой используются нелинейно-оптические явления. Генерация реализуется по следующей схеме: основная длина волны 1064 нм возбуждает на первом нелинейном кристалле титанил-фосфата калия (KTiOPO₄) вторую гармонику (532 нм). Затем излучение основной и второй гармоник смешивается на втором нелинейном кристалле, в результате чего на выходе излучается третья гармоника с длиной волны 355 нм (рис. 1).

Лазерное излучение УФ-диапазона (355 нм) обладает высокой энергией квантов и меньшим диаметром пятна в области фокусировки за счет более короткой длины волны по сравнению с волоконными (1064 нм) и CO₂-лазерами (10,6 мкм). Длины волн излучения различных лазеров показаны на рис. 2.

Минимально возможный диаметр пятна фокусировки соответствует длине волны лазер-

The use of laser cutting systems with ultraviolet radiation has opened up new possibilities for processing special materials. To obtain ultraviolet, a more complex laser configuration is needed. To generate the third harmonic (355 nm) in a solid-state diode-pumped laser, nonlinear optical phenomena are used. The generation is realized according to the following scheme: the main wavelength of 1064 nm excites the second harmonic (532 nm) on the first nonlinear crystal of potassium titanyl phosphate (KTiOPO₄). Then the radiation of the main and second harmonics is mixed on the second nonlinear crystal, as a result of which the third harmonic with a wavelength of 355 nm is emitted at the output (Fig. 1).

UV-range laser radiation (355 nm) has a high quanta energy and a smaller spot diameter in the focusing region due to a shorter wavelength compared to fibre- (1064 nm) and CO₂ lasers (10.6 μm). The radiation wavelengths of various lasers are shown in Fig. 2

The minimum possible focus spot diameter corresponds to the wavelength of the laser radiation. Accordingly, for a UV-laser with 355 nm, it is 30 times smaller than for an IR with a wavelength of 10.06 μm, and is several micrometres.

The shift of the wavelengths in the UV region increases the quantum energy, which increases the energy intensity of the laser radiation flux. Reducing the wavelength of laser radiation reduces the reflection coefficient of materials and increases the amount of energy absorbed by the material.

The energy absorbed by the material is consumed either on vibrational or electronic excitation, or on a photochemical reaction. During vibration excitation, the absorbed photon energy causes

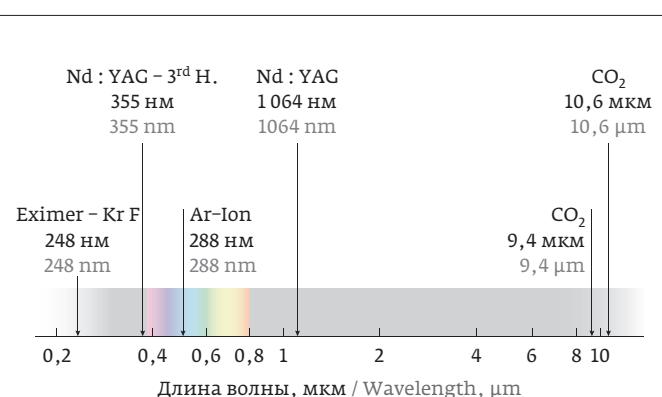


Рис. 2. Длины волн различных лазерных источников [1]
Fig. 2. Wavelengths of various laser sources [1]



ного излучения. Соответственно, для УФ-лазера с 355 нм он в 30 раз меньше, чем для ИК с длиной волны 10,06 мкм, и составляет несколько микрометров.

Смещение длин волн в УФ-область увеличивает энергию кванта, что повышает энергоемкость потока лазерного излучения. Уменьшение длины волны лазерного излучения снижает коэффициент отражения материалов и увеличивает количество поглощенной материалом энергии.

Энергия, поглощенная материалом, расходуется либо на вибрационное или электронное возбуждение, либо на фотохимическую реакцию. При вибрационном возбуждении поглощенная энергия фотона вызывает молекулярные колебания в материале: растяжение, изгибы или вращение атомных связей. Если падающий фотон имеет достаточно высокую энергию, то он может вызвать электронное возбуждение. Возбужденный электрон может потратить энергию на эмиссию фотона или на вибрационное возбуждение. Эмиссия фотона не изменяет материал или его свойства, но вибрационное возбуждение, при котором происходит значительное выделение теплоты, может изменить свойства материала. Фотохимическая реакция возникает, если энергия поглощенного фотона соответствует энергии начала химической реакции. Для начала фотохимических реакций требуется высокая энергия фотона [2].

Фотоны падающего излучения поглощаются электронами в тонком поверхностном слое материала, соответствующем глубине оптического проникновения. Высвобождаемая энергия превращается в тепло и передается цепочкам молекул. При достижении температуры испарения материала начинается абляция. Распространение теплового фронта происходит от поверхностного слоя в глубь материала. Глубина термической диффузии является функцией коэффициента диффузии материала и длительности импульса лазерного излучения.

При взаимодействии излучения УФ-диапазона с диэлектрическими материалами, такими как полимеры, в веществе происходит разрыв внутримолекулярных связей и электронное возбуждение молекул вещества. Возникает фотохимический механизм взаимодействия, так называемая «холодная» абляция. При высокой плотности мощности лазерного излучения создаются условия, при которых величина энергии квантов оказывается достаточной как для разрыва связей между полимерными цепями, вну-

molecular oscillations in the material: stretching, bending, or rotating atomic bonds. If the incident photon has a sufficiently high energy, then it can cause electronic excitation. An excited electron can consume energy on the emission of a photon or on vibrational excitation. The emission of a photon does not change the material or its properties, but vibrational excitation, with a significant release of heat, can change the properties of the material. A photochemical reaction occurs if the energy of an absorbed photon corresponds to the energy of the beginning of a chemical reaction. The onset of the photochemical reactions requires high photon energy [2].

The photons of the incident radiation are absorbed by electrons in a thin surface layer of the material corresponding to the depth of optical penetration. The released energy is converted into heat and transferred to the chains of molecules. When the evaporation temperature of the material begins, ablation begins. The propagation of the heat front occurs from the surface layer deep into the material. The depth of thermal diffusion is a function of the diffusion coefficient of a material and the duration of a laser pulse.

The interaction of UV radiation with dielectric materials, such as polymers, in a substance occurs once burst of intramolecular bonds and electronic excitation of substance molecules. There is a photochemical mechanism of interaction, the so-called «cold» ablation. With a high-power density of laser radiation, conditions are created under which the quanta energy is sufficient both to break bonds between polymer chains, inside chains between individual molecules, and to break chemical bonds inside molecules (for example, C-C or C-H in polymers) [3]. Cold ablation is characterized by a small heat-affected zone, only a few micrometres.

PRINTED CIRCUIT BOARD CUTTING

A printed circuit board is a copper-laminated non-conductive plate on which electrically conductive circuits are formed to power the electronic components installed on it. There are several types of printed circuit boards: single-layer, double-layer, multi-layer and flexible printed circuit boards. They differ in the number of conductive layers and the type of insulating material. The materials mainly used for printed circuit boards are FR-1, FR-2, FR-4, CEM-3.

The technology of using ultraviolet laser is versatile: it is suitable for cutting, piercing holes

три цепей между отдельными молекулами, так и для разрыва химических связей внутри молекул (например, типа C-C или C-H в полимерах) [3]. Холодная аблация характеризуется маленькой зоной термического влияния – всего несколько микрометров.

РЕЗКА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Печатная плата представляет собой ламинированную медью непроводящую пластинку, на которой сформированы электропроводящие цепи для питания установленных на ней электронных компонентов. Существует несколько типов печатных плат: однослойные, двухслойные, многослойные и гибкие печатные платы. Они отличаются количеством проводящих слоев и типом изоляционного материала. Материалы, в основном использующиеся для печатных плат: FR-1, FR-2, FR-4, СЕМ-3.

Технология использования ультрафиолетового лазера универсальна: она подходит для резки, прошивки отверстий и структурирования как жестких, так и гибких печатных плат. Помимо короткой длины волны и меньшей зоны термического влияния, высокая энергия фотонов ультрафиолетового излучения позволяет работать с широким спектром материалов для печатных плат: от стандартных материалов, таких как FR-4 и аналогичных подложек на основе смол, керамики до высокочастотных керамических композитов и материалов для гибких печатных плат, включая полиамид. На рис. 3 приведен спектр поглощения материалов, использующихся для печатных плат. Ультрафиолетовые лазеры имеют очень высокие показатели поглощения для смолы и меди, а также достаточно высокое поглощение в стекле. Более высокие показатели поглощения среди этой группы материалов демонстрируют только эксимерные лазеры (248 нм), которые из-за своей высокой стоимости и сложности обслуживания редко применяются для подобных целей. Разнообразие материалов для обработки позволяет использовать УФ-лазеры для широкого спектра применений на печатных платах: от создания контуров цепей до выполнения сложных процессов, таких как создание карманов для встраивания микросхем.

УФ-лазеры в индустрии печатных плат применяются, в частности, для выделения готовых устройств из панели печатной платы. Обычный метод заключается в использовании механического фрезерного бита. Однако производители стремятся увеличить пропускную

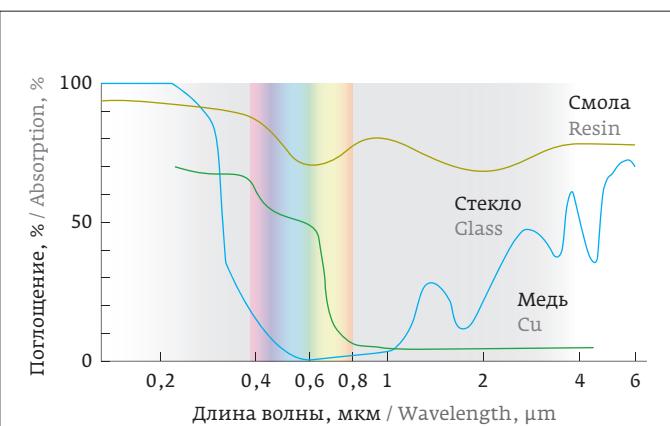


Рис. 3. Спектр поглощения материалов, в основном использующихся для печатных плат [1]

Fig. 3. Absorption spectrum of materials mainly used for the printed circuit boards [1]

and structuring both rigid and flexible printed circuit boards. In addition to a short wavelength and a smaller heat-affected zone, the high energy of ultraviolet photons allows you to work with a wide range of materials for printed circuit boards: from standard materials such as FR-4, and similar resin substrates, ceramics to high-frequency ceramic composites and materials flexible printed circuit boards, including polyamide. Fig. 3 shows the absorption spectrum of materials used for printed circuit boards. Ultraviolet lasers have very high absorption rates for resin and copper, and

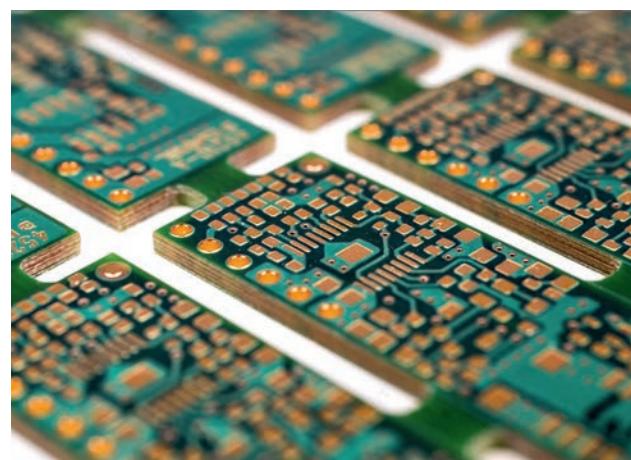


Рис. 4. Панель печатной платы с отдельными платами, соединенными вместе, готовая к процессу лазерного разделения [1]

Fig. 4. Printed circuit board panel with separate boards connected together, ready for the laser separation process [1]

способность процесса и снизить стоимость расходных материалов.

«Холодная абляция» УФ-излучения сводит к минимуму появление заусенцев, обугливания и других негативных эффектов теплового напряжения, обычно возникающих при воздействии лазеров с более высокой мощностью.

CO₂-лазеры также подходят для некоторых работ по разделению, но они сильно обугливают поверхности реза. Для многих применений наличие карбонизации недопустимо: углеродные продукты могут быть проводящими и поглощать влагу, что приведет к выходу устройства из строя. Кроме того, соединения углерода являются ароматическими, что неприемлемо для применений, в которых изделие будет находиться близко к лицу пользователя, например, мобильных телефонах, гарнитурах и тому подобное. Примеры резки печатных плат ультрафиолетовым лазером представлены на рисунке 5а, б. Данные примеры выполнены на ультрафиолетовом лазере Poplar-355-12 с наносекундной длительностью импульса компании Huaray [1].

Другое применение УФ-лазера в индустрии печатных плат – перфорация. Производительность этого процесса зависит от свойств материала. Для максимизации производительности перфорация выполняется в два похода: абляция медного слоя при высоких плотностях энергии лазерного излучения (около 4 Дж/см²), затем перфорация непроводящей подложки излучением

also, a fairly high absorption in glass. Higher absorption rates among these materials of this group show only excimer lasers (248 nm), which, due to their high cost and complexity of maintenance, are rarely used for such purposes. A variety of materials for processing allows the use of UV lasers for a wide range of applications on printed circuit boards: from creating circuit loops to performing complex processes, such as creating pockets for embedding chips.

UV lasers in the printed circuit industry are used, in particular, to isolate finished devices from a printed circuit board panel. The usual method is to use a mechanical milling bit. However, manufacturers seek to increase the process throughput and reduce the cost of consumables.

UV radiation due to «cold ablation» minimizes the appearance of burrs, charring and other negative effects of thermal stress, usually occurring when exposed to lasers with higher power.

CO₂ lasers are also suitable for some of the separation work, but they severely char cut surfaces. For many applications, the presence of carbonation is unacceptable: carbon products can be conductive and absorb moisture, which will lead to failure of the device. Furthermore, carbon compounds are aromatic, which is unacceptable for applications in which the product will be close to the user's face, such as mobile phones, headsets, and the like. The examples of cutting printed circuit boards with a UV laser are shown

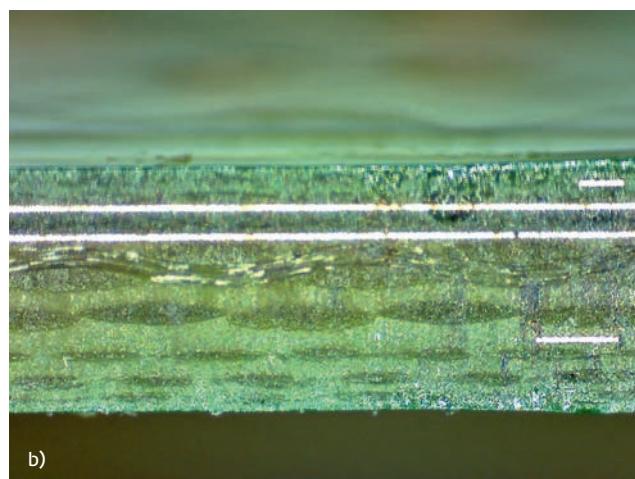


Рис. 5. Резка печатных плат: а) материал печатной платы без проводящего слоя; б) материал с двумя проводящими слоями

Fig. 5. Cutting of printed circuit boards: a) material of the printed circuit board without a conductive layer; b) material with two conductive layers



с более низкой плотности энергии (100 мДж/см^2). Данная последовательность обеспечивает наименьшую зону термического влияния при воздействии на материал подложки, тем самым позволяет получать отверстия наилучшего качества: 30 мкм в диаметре, скорость перфорации при этом может достигать 250 отверстий в секунду. Кроме того, в ходе данного воздействия улучшаются адгезивные свойства поверхности меди в результате лазерного структурированной, что хорошо оказывается на последующем нанесении покрытия. CO₂-лазеры, с обычным для них диаметром пучка 70 мкм и большой зоной термического влияния, не позволяют достигать подобных результатов.

Небольшой размер пятна УФ-лазера открывает новые возможности лазерного структурирования: прямая аблация лаков и фоторезистов (прямая фотолитография УФ-лазером) – альтернатива традиционной фотолитографии. Минимальная ширина линий, достигнутая таким методом, – 30 мкм [1].

УФ-лазерные системы работают напрямую от данных САПР и исключают любое посредничество в процессе создания платы. Это позволяет УФ-системам работать с высоким разрешением и высокой точностью повторного позиционирования. С помощью программного обеспечения ультрафиолетовые лазеры идеально подходят для HDI-приложений (High-Density Interconnect). Возможна резка сложных изделий, состоящих из нескольких слоев различных материалов (например, FR-4/полиимид/ эпоксидная смола) с высокой скоростью и отсутствием расслоения.

Тенденция к миниатюризации в электронных устройствах привела к использованию гибких печатных плат. Гибкие печатные платы – это один или более слоев диэлектрика со сформированной на нем электронной схемой. Изготовление печатных плат из гибких материалов расширяет возможности их применения за счет гибкости конструкции, меньшей массы, большей плотности компоновки, устойчивости к динамическим и термическим нагрузкам и делает их наиболее оптимальным, не имеющим альтернатив способом межсоединений в электронике. Применение такого материала накладывает ограничения на методы его обработки: резка механическим методом имеет слишком широкий рез и создает высокие механические напряжения, недопустимые для схем со сложной топологией, лазерная резка CO₂-лазером обладает большой зоной термического влияния.

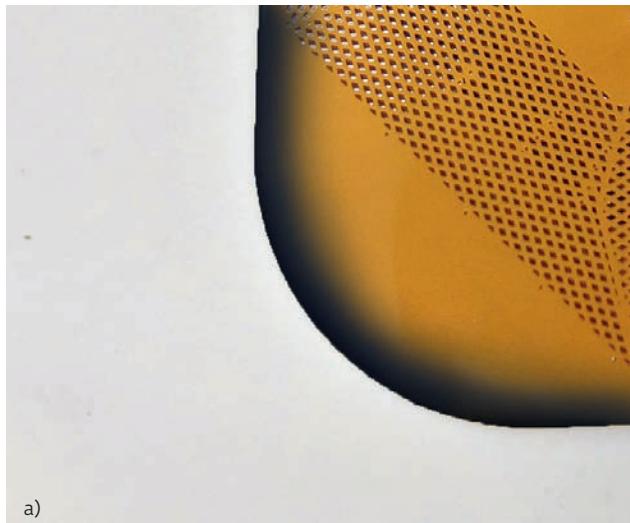
in Figure 5a, b. These examples are made on Poplar-355-12, an ultraviolet laser with a nanosecond pulse duration (Huaray) [1].

Another application of the UV laser in the printed circuit industry is perforation. The performance of this process depends on the properties of the material. To maximize productivity, perforation is performed in two trips: ablation of the copper layer at high energy densities of laser radiation (about 4 J/cm^2), then perforation of a non-conductive substrate with radiation with a lower energy density (100 mJ/cm^2). This sequence provides the smallest heat-affected zone when exposed to the substrate material, thus allowing to obtain the best quality holes: 30 microns in diameter, the perforation rate can reach 250 holes per second. In addition, during this exposure, the adhesive properties of the copper surface are improved as a result of the structured laser, which has a good effect on the subsequent application of the coating. CO₂ lasers, with the usual beam diameter of 70 μm and a large heat-affected zone, do not allow to achieve similar results.

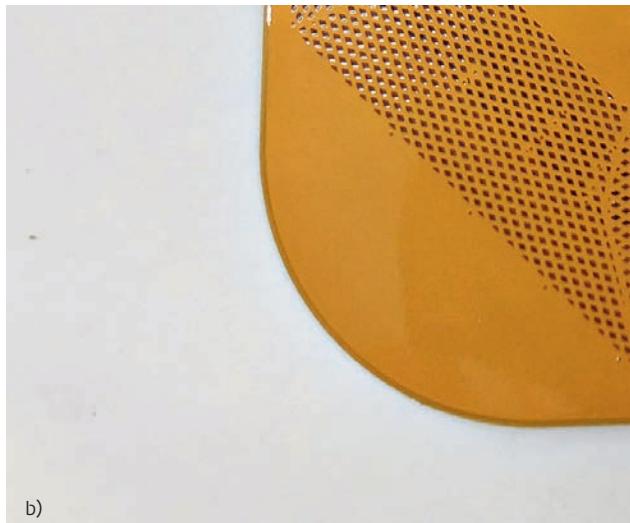
The small spot size of a UV laser opens up new possibilities for laser structuring: direct ablation of varnishes and photoresists (direct photolithography with a UV laser) is an alternative to traditional photolithography. The minimum width of lines achieved by this method is 30 μm [1].

UV-laser systems work directly from the CAD data and exclude any mediation in the process of creating the board. This allows UV systems to work with high resolution and high repeat positioning accuracy. UV-lasers are ideal for HDI applications by using software (High-Density Interconnect). It is possible to cut complex products consisting of several layers of different materials (e.g., FR-4/polyimide/epoxy resin) with high speed and the absence of delamination.

The trend towards miniaturization in electronic devices has led to the use of flexible printed circuit boards. Flexible printed circuit boards are one or more layers of a dielectric with an electronic circuit formed on it. The fabrication of printed circuit boards from flexible materials expands the possibilities of their use due to the design flexibility, lower weight, greater layout density, resistance to dynamic and thermal loads and makes them the most optimal, having no alternatives to the interconnect method in electronics. The use of such a material imposes restrictions on its processing methods: cutting by a mechanical method has a too wide cut and creates high mechanical stresses



a)



b)

Рис. 6. Резка гибкой печатной платы на CO₂- и УФ-лазере
Fig. 6. Cutting a flexible PCB on CO₂ and UV laser

Поглощение лазерного излучения диэлектриками обусловлено наличием колебательных степеней свободы кристаллической решетки, межмолекулярными колебаниями, примесями, дефектами и т.д. Коэффициент поглощения зависит от длины волны излучения и наибольшее значение имеет в УФ- и ИК-диапазоне излучений. Диэлектрики также имеют высокие коэффициенты поглощения на длине волны $\lambda=10,6$ мкм излучения CO₂-лазеров, однако ИК-лазеры удаляют материал путем интенсивного локального нагрева, при этом возникают продукты карбонизации, обугленные края и высокие термические напряжения. К тому же излучение CO₂-лазера полностью отражается металлами, что делает невозможным резку гибких печатных плат с металлическими цепями. Лазерная резка УФ-лазером позволяет выполнить резку гибких печатных плат с высоким качеством. На рис. 6 представлены результаты резки печатных плат CO₂-лазером и УФ-лазером. При резке CO₂-лазером присутствуют следы карбонизации материала, при УФ-резке – чистый, ровный край реза.

Еще одно применение, свидетельствующее об универсальности ультрафиолетовых лазеров, – это гравировка по глубине. Она позволяет создавать карманы для встраивания микросхем и ступени на подложках печатной платы. Пример гравировки по глубине представлен на рис. 7. Контролируемая глубокая гравировка может быть автоматизирована с помощью программного обеспечения.

that are unacceptable for circuits with a complex topology, laser cutting with a CO₂ laser has a large heat-affected zone.

The absorption of laser radiation by dielectrics is due to the presence of vibrational degrees of freedom of the crystal lattice, intermolecular vibrations, impurities, defects, etc. The absorption coefficient depends on the radiation wavelength and is most important in the UV and IR radiation ranges. Dielectrics also have high absorption coefficients at a wavelength of $\lambda = 10.6 \mu\text{m}$ of CO₂-laser radiation, but IR lasers remove material by intense local

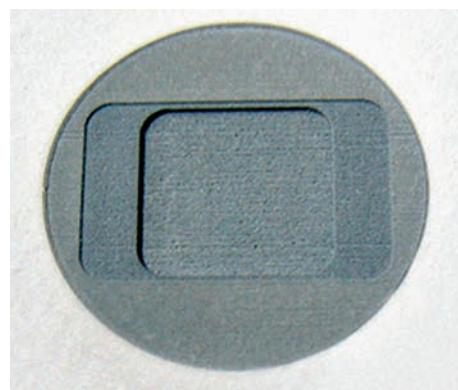


Рис. 7. Гравировка по глубине полиэтиленового материала: шаг по глубине 2 мм, 8 мм и 10 мм [1]
Fig. 7. Engraving on the depth of the polyethylene material: pitch at a depth of 2 mm, 8 mm and 10 mm [1]

ПРЕЦИЗИОННАЯ РЕЗКА И ПЕРФОРАЦИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ФОЛЬГИ

Длина волны третьей гармоники твердотельного лазера с диодной накачкой 355 нм хорошо поглощается металлами (Cu, Ni, Au, Ag). Спектр поглощения представлен на рис. 8. УФ-лазер позволяет выполнять прецизионную обработку металлов. На рис. 9 приведены примеры резки твердотельным лазером с диодной накачкой с длиной волны 355 нм фольги из нержавеющей стали толщиной 200 мкм и прошивки отверстия в фольге толщиной 50 мкм [5].

РЕЗКА ХРУПКИХ МАТЕРИАЛОВ

Лазерная обработка стекла активно используется в производстве бытовой электроники. Мотивирующими факторами для этого являются снижение стоимости за счет увеличения выхода продукции и улучшения качества готового устройства. Лазеры используются для обработки различных типов стекла: от недорогого натриево-кальциевого до разнообразных высококачественных боросиликатных стекол. Требованиями к данному процессу являются сокращение объема расплавленного материала и предотвращение образования микротрещин. УФ-лазер, благодаря небольшому диаметру пятна и небольшой зоне теплового влияния, снижает тепловую нагрузку на стекло. Контроль образования микротрещин может быть выполнен путем настройки длительности импульса. Также УФ-лазер позволяет выполнять резку дру-

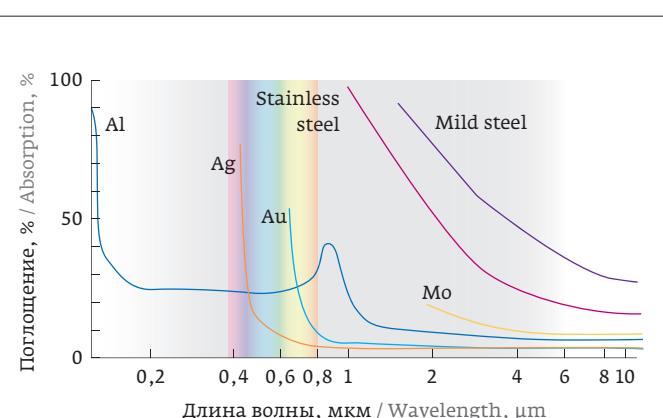
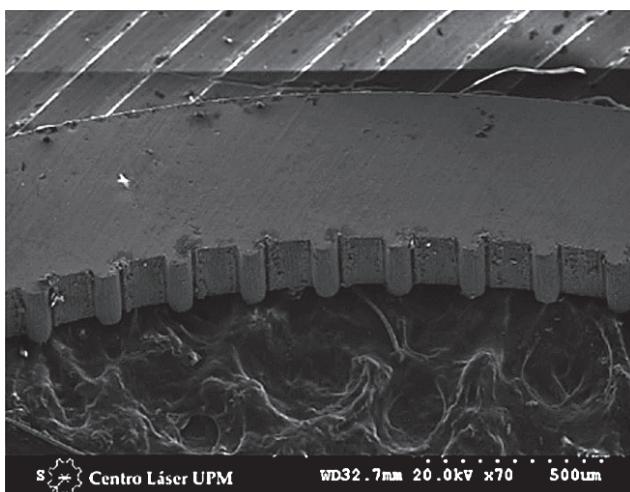


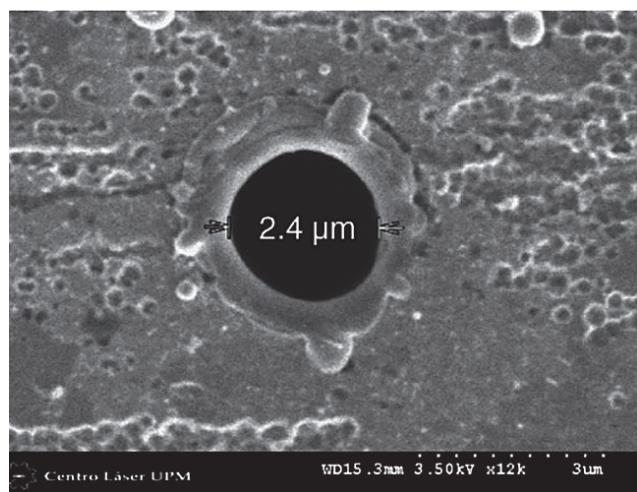
Рис. 8. Спектры поглощения различных металлов [1]
Fig. 8. Absorption spectra of various metals [1]

heating, with carbonation products, charred edges and high thermal stresses. Furthermore, the CO₂ laser radiation is completely reflected by metals, which makes it impossible to cut flexible printed circuit boards with metal chains. Laser cutting with a UV laser allows you to cut flexible printed circuit boards with high quality. Fig. 6 shows the results of cutting printed circuit boards with a CO₂ laser and a UV laser. When cutting with a CO₂ laser, traces of carbonization of the material are present, and with UV cutting, a clean, even edge of the cut.

Another application that testifies to the universality of ultraviolet lasers is engraving in



a)



b)

Рис. 9. Резка и прошивка отверстий в фольге [5]
Fig. 9. Cutting and piercing holes in foil [5]



Рис. 10. УФ-резка керамики
Fig. 10. UV cutting of ceramics

гих хрупких материалов с высокой температурой плавления, таких как керамика, сапфир и оксид алюминия.

РЕЗКА МАТЕРИАЛОВ СО СЛОИСТОЙ СТРУКТУРОЙ: СЛЮДА

УФ-лазер может выполнять резку слюды с отсутствием расслоения материала. На рис. 11 приведены образцы резки слюды на волоконном, CO₂ и УФ-лазерах. Как видно, наилучший результат показывает ультрафиолет.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Системы для лазерной обработки на основе УФ-лазерных источников с длиной волны 355 нм имеют более высокую точность, скорость и лучшее качество резки, они представляют собой идеальный инструмент для микрообработки и наиболее часто используются в производстве печатных плат и электроники, прецизионной резки металлов и хрупких материалов. Они подходят для промышленных и научных применений, например, для экспериментов в области атомной и молекулярной спектроскопии и хими-

depth. It allows you to create pockets for embedding chips and treads on printed circuit board substrates. An example of engraving in depth is shown in Fig. 7. Controlled deep engraving can be automated using software.

PRECISION CUTTING AND PERFORATION OF METAL FOIL

The third-harmonic wavelength of 355 nm of a diode-pumped solid-state laser is well absorbed by metals (Cu, Ni, Au, Ag). The absorption spectrum is shown in Fig. 8. The UV laser allows for precision metal processing. In fig. 9 shows an example of cutting with a diode-pumped solid-state laser with a wavelength of 355 nm of a 200-μm-thick stainless-steel foil and piercing a hole in a 50-μm-thick foil [5].

CUTTING FRAGILE MATERIALS

Laser glass processing is widely used in the production of consumer electronics. The motivating factors for this are cost reduction due to an increase in the yield of products and an improvement in the quality of the finished device. Lasers are used to process various types of glass: from inexpensive sodium-calcium to a variety of high-quality borosilicate glasses. The requirements for this process are to reduce the volume of the molten material and prevent the formation of microcracks. UV laser due to the small spot diameter and a small zone of thermal influence reduces the thermal load on the glass. Control of the formation of microcracks can be performed by setting the pulse duration. Also, the UV laser allows you to cut other fragile materials with a high melting point, such as ceramics, sapphire and aluminium oxide.

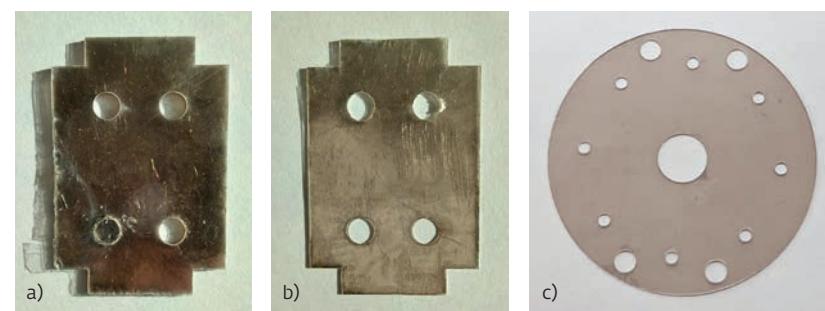


Рис. 11. Резка слюды: а) волоконным лазером (1064 нм); б) CO₂-лазером (10,6 мкм); в) УФ-лазером (355 нм)
Fig. 11. Cutting mica: a) fibre laser (1064 nm); b) CO₂-laser (10.6 μm); c) UV laser (355 nm)



ческой динамики. Использование УФ-лазеров предполагает появление новых приложений в нанотехнологиях, материаловедении, биологии, химии, физике плазмы и многих других областях. Твердотельные лазеры с диодной накачкой с излучением 355 нм имеют низкую стоимость эксплуатации, высокую надежность и долгий срок службы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. URL: [http://www.huaraylaser.com/en/application]. PCB Depaneling. HUARAY PRECISION LASER CO., LTD.
2. **Ражев А. М.** Оптические технологии с использованием импульсных УФ-лазеров для микрэлектроники и медицины. Труды МНК «Специализированное приборостроение, метрология, теплофизика, микротехника, нанотехнологии». 2012; 1(5): 187–192.
Razhev A. M. Opticheskiye tekhnologii s ispolzovaniyem impulsnykh UF-lazerov dlya mikroelektroniki i meditsiny. Trudy MNK «Spetsializirovannoye priborostroyeniye, metrologiya, teplofizika, mikrotehnika, nanotekhnologii». 2012; 1(5): 187–192.
3. **Валиев К. А., Великов Л. В., Душенков С. Д., Митрофанов А. В., Прохоров А. М.** Эффект фотогравеления полимеров под действием ультрафиолета. Письма в ЖТФ. 1982; 8(1): 36–36.
Valiyev K. A., Velikov L. V., Dushenkov S. D., Mitrofanov A. V., Prokhorov A. M. Effekt fototravleniya polimerov pod deystviyem ultrafioleta. Pisma v ZhTF. 1982; 8(1): 36–36.
4. **Meier D. J., Schmidt S. H.** PCB Laser Technology for Rigid and Flex HDI—Via Formation, Structuring, Routing. OR Published at IPC Printed Circuit Expo 2002, Long Beach, CA. LPKF Laser&Electronics North America. URL: [https://www.lpkfusa.com].
5. **Molpeceres C., Lauzurica S., Garcia-Ballesteros J. J., Morales M., Ocana J. L.** Advanced 3D micromachining techniques using UV laser sources. *Microelectronic Engineering*. 2007; 84: 1337–1340.

CUTTING MATERIALS WITH A LAYERED STRUCTURE: MICA

A UV-laser can cut mica with no delamination of material. Fig. 11 shows mica samples cut with fibre, CO₂ and UV lasers. As one can see, the best result is achieved with the ultraviolet.

CONCLUSION

The systems for laser processing based on UV laser sources with a wavelength of 355 nm have higher accuracy, speed and better cutting quality, they are an ideal tool for micromachining and are most often used in the production of printed circuit boards and electronics, precision cutting of metals and brittle materials. They are suitable for industrial and scientific applications, for example, for experiments in atomic and molecular spectroscopy and chemical dynamics. The use of UV lasers suggests the emergence of new applications in nanotechnology, materials science, biology, chemistry, plasma physics and many other fields. Diode-pumped solid-state lasers with 355 nm radiation have low operating costs, high reliability and long service life.


СКАНАТОРНЫЕ
СИСТЕМЫ

СДЕЛАНО В РОССИИ

LDesigner-SLS

Мы разработали программно-аппаратный комплекс "LDesigner-SLS" для обеспечения процесса селективного лазерного спекания порошковых материалов.

Комплекс включает в себя сканирующую систему, состоящую из сканаторной и коллиматорной головок, контроллера и программного продукта. Использование сканаторов собственного производства позволило значительно снизить себестоимость комплекса по сравнению с зарубежными аналогами, а также дало возможность изменять выходные параметры системы в зависимости от требований заказчика.



www.sc-systems.ru
г. Москва, ул. Большой Семёновский, д. 42, стр. 7
8 (495) 642-07-63, 8 (499) 369-47-01
sc@sc-systems.ru



XI Международная конференция «Фундаментальные проблемы оптики» ФПО-2019

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (ИТМО) приглашает принять участие в XI Международной конференции «Фундаментальные проблемы оптики» ФПО-2019, которая будет проходить в городе на Неве с 21 по 25 октября 2019 года.

Тематика конференции:

- квантовая оптика и фундаментальная спектроскопия,

- когерентные процессы взаимодействия света с веществом,
- оптика фемто- и аттосекундных импульсов,
- нелинейные взаимодействия терагерцевого излучения с веществом, функциональные терагерцевые материалы,
- новые принципы оптической передачи, обработки и хранения информации,
- оптические материалы фотоники,



■ оптика для биологии и медицины. В рамках конференции будут организованы чтения академика Ю.Н. Денисюка и семинар «Индустриальная фотоника».

Рабочие языки: русский, английский.

Срок приема материалов докладов: до 27 мая 2019 года включительно.

Подробности на сайте конференции.

www.conf-bpo.ifmo.ru

XVI международная конференция HOLOEXPO 2019

Международная конференция по голограммии и прикладным оптическим технологиям состоится 10–12 сентября 2019 года в п. Стрельна (г. Санкт-Петербург) (www.balticstar-hotel.ru).

Цель научного мероприятия – обсуждение новейших научно-технических достижений, демонстрация продукции, оценка состояния рынка и выявление тенденций развития отрасли в области голограммии и прикладных оптико-голограммических технологий в России, республиках Беларусь, Армения, Киргизия, Казахстан (странах Евро-Азиатского Экономического Союза – ЕАЭС), странах СНГ и других странах мира, а также популяризация мероприятий среди широкого круга компаний, использующих голографическую продукцию в оптических технологиях.

Организаторы конференции – Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия), АО НПО «Криптен» (г. Дубна, Россия), ООО «ХолоГрэйт» (г. Санкт-Петербург, Россия), ЗАО «Голографическая индустрия» (г. Минск, Республика Беларусь), ФГУП «НТЦ «Атлас» (г. Москва, Россия), ООО «НПО

«Государственный институт прикладной оптики» (г. Казань, Россия), ООО «Джеймс Ривер Бранч» (г. Москва, Россия).

Генеральный спонсор – АО Научно-производственное объединение «Криптен» (г. Дубна, Россия).

Спонсоры конференции ООО «ХолоГрэйт» (г. Санкт-Петербург, Россия), ФГУП «НТЦ «Атлас» (г. Москва, Россия), АО «НПО «Государственный институт прикладной оптики» (г. Казань, Россия), ООО «Джеймс Ривер Бранч» (г. Москва, Россия), ООО «Микро и наноголограммические системы» (г. Москва, Россия), Общественная научно-техническая академия «КОНТЕНАНТ» (г. Красногорск, Россия).

Устроитель конференции – ООО «Микро и наноголограммические системы» (г. Москва, Россия).

Информационные спонсоры: журнал «Фотоника» (г. Москва, Россия), журнал «КОНТЕНАНТ» (г. Красногорск, Россия), журнал «Мир техники кино» (г. Москва, Россия), журнал Holography News (г. Лондон, Великобритания).

На научно-практической конференции будут работать следующие секции:

Секция №1. Технологии получения защитных голограмм;

Секция №2. Формирование голограммических изображений с помощью голограммной оптики и оптико-голограммических дисплеев;

Секция №3. Голограммные и дифракционные оптические элементы, методы, компьютерный синтез и технологии их изготовления, метаматериалы, нанотехнологии и плазмонные структуры для голограмм;

Секция №4. Объемная голограммия и фоточувствительные материалы для голограмм;

Секция №5. Голографическая интерферометрия, голографическая память, оптико-голограммическая обработка информации;

Секция №6. Маркетинг и менеджмент в голограммии.

Рабочие языки конференции: русский и английский. Во время работы конференции будут обеспечены синхронным переводом на русский и английский языки. Более подробная информация на сайте конференции по адресу: www.holoexpo.ru.

Председатель Организационного комитета XVI Международной конференции HOLOEXPO 2019
д.т.н., профессор С. Б. Одиноков,
odinokov@bmstu.ru

rosmould

Международная выставка производственных
технологий нового поколения

18–20 июня 2019

МВЦ «Крокус Экспо», Москва

От идеи до готового изделия



Дизайн и проектирование
изделий



Аддитивные
технологии



Формы, пресс-формы
и штампы



Сырье
и материалы



Оборудование
и оснастка

www.rosmould.ru



messe frankfurt

01010010
101011010101
10101111
011010101
01010010011
010100100111
01010010011101
0010010
101010101010
0110101010
0110101010
10010

01000010
10100
011010101010
101010101010101
0010010
101010101010
0110101010
0110101010
10101010
10101010

mesago
Messe Frankfurt Group