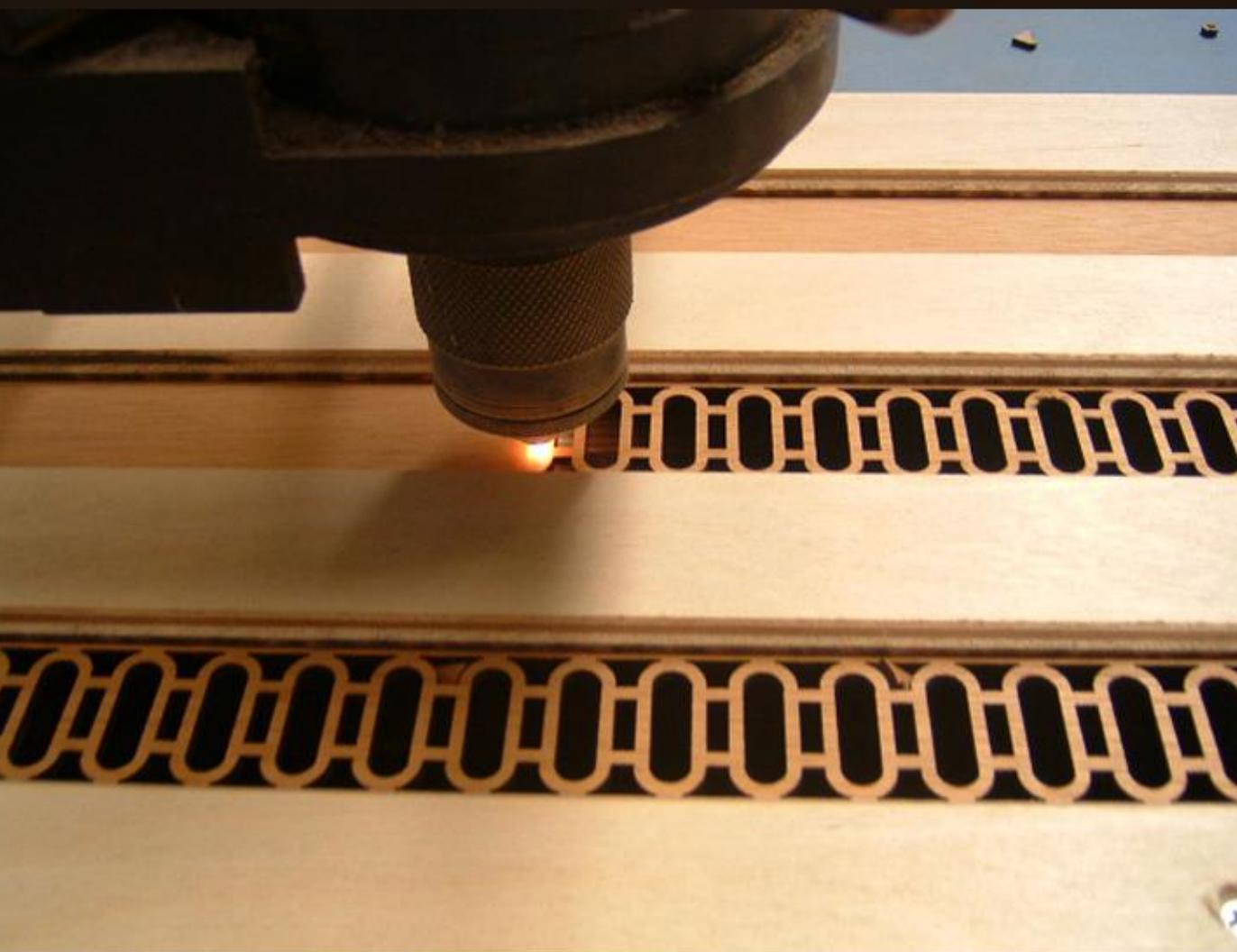


صناعة القاطع الليزري ذي الموجة المستمرة

(مادة علمية منهجية قائمة على نتائج عملية)



د. عدي عطا حمادي
أستاذ الليزر في الجامعة العراقية

المحتويات

الصفحة

الموضوع

المقدمة

الفصل الأول / ما هو الليزر؟ (نظرية الليزر)

١-١ المقدمة

١-١-١ الامتصاص

٢-١-١ الانبعاث التلقائي

٣-١-١ الانبعاث المحفز

٢-١ نظرية الليزر

٣-١ تصنيف الليزر

١-٣-١ ليزرات الحالة الصلبة

٢-٣-١ ليزرات أشباه الموصلات

٣-٣-١ الليزر الغازية

الفصل الثاني / ليزر ثنائي أوكسيد الكربون

١-٢ ليزر ثنائي أوكسيد الكربون

١-١-٢ مراجعة البحوث السابقة

٢-١-٢ مبدأ عمل ليزر ثنائي أوكسيد الكربون

٣-١-٢ عمليات التهييج والتوزيع المعكوس

٤-١-٢ دور غاز الهليوم

٥-١-٢ الانتقالات الليزرية في ثنائي أوكسيد الكربون

٢-٢ ضخ الليزر الغازي

١-٢-٢ التفريغ الكهربائي في الغاز

٢-٢-٢ العمليات الأساسية في التفريغ الكهربائي في الغاز

٣-٢-٢ التفريغ التوهجي ذو المساندة الذاتية

٤-٢-٢ دور العامل E/N

٣-٢ العوامل المؤثرة على عمل ليزر ثنائي أوكسيد الكربون

- ١-٣-٢ طول أنبوب التفريغ
- ٢-٣-٢ ضغط الغاز
- ٣-٣-٢ تركيب الغاز
- ٤-٣-٢ تيار التفريغ
- ٥-٣-٢ درجة حرارة أنبوب التفريغ
- ٦-٣-٢ معدل جريان الغاز
- ٧-٣-٢ إضافة الغازات إلى الخليط الغازي
- ٤-٢ أنواع ليزرات ثنائي أوكسيد الكربون
- ١-٤-٢ ليزر الجريان الطولي للغاز (Axial flow)
- ٢-٤-٢ ليزر ثنائي أوكسيد الكربون المختوم (Sealed-off)
- ٣-٤-٢ ليزر موجة الموجة (Waveguide)
- ٤-٤-٢ ليزر الجريان المستعرض (Transverse flow)
- ٥-٤-٢ ليزر الإثارة العرضية والضغط الجوي (TEA)
- ٦-٤-٢ ليزر ديناميك الغازات (Gas dynamic)

الفصل الثالث / بصريات ليزر ثنائي أوكسيد الكربون

- ١-٣ المرنان البصري
- ٢-٣ عدد فرينيل للمرنان البصري
- ٣-٣ المواد البصرية في ليزرات ثنائي أوكسيد الكربون
- ٤-٣ اختيار مادة العدسة
- ١-٤-٣ سيلينيد الخارصين (ZnSe)
- ٢-٤-٣ الجرمانيوم (Ge)
- ٣-٤-٣ تولورايد الكادميوم (CdTe)
- ٥-٣ التكبير والانفراجية
- ١-٥-٣ التكبير الخطي
- ٢-٥-٣ التكبير الزاوي
- ٦-٣ الترصيف البصري
- ١-٦-٣ الزيغ الكروي

٣-٦-٢ زيغ اللانقضية

الفصل الرابع / التأثيرات الجوية على حزمة الليزر

١-٤ المقدمة

٢-٤ التوهين

١-٢-٤ الاستطارة

٢-٢-٤ الامتصاصية

٣-٤ الاضطراب الجوي

١-٣-٤ تقلبات الشدة

٢-٣-٤ التقلبات الفضائية

٣-٣-٤ التقلبات الزمنية للطور

٤-٣-٤ تقلبات زاوية الاستلام

٥-٣-٤ انحراف الشعاع

٦-٣-٤ نشر الشعاع

٧-٣-٤ انحرافات الحزمة

٨-٣-٤ تقلبات الاستقطاب

الفصل الخامس / القطع باستخدام ليزر ثنائي أوكسيد الكربون

١-٥ المقدمة

٢-٥ مبادئ عملية القطع

١-٢-٥ استخدام الغاز الخامل

٢-٢-٥ استخدام الغاز الفاعل

٣-٢-٥ التبخير

٤-٢-٥ التدهور أو الانحلال الكيميائي

٥-٢-٥ الخدش

٣-٥ اختيار عملية القطع

١-٣-٥ خصائص القطع بالليزر

٢-٣-٥ معاملات المادة

- ٣-٣-٥ خصائص حزمة الليزر
- ٤-٣-٥ معاملات المعالجة
- ٤-٥ خواص المواد المقطوعة بالليزر
- ١-٤-٥ ضمان لجودة
- ٢-٤-٥ العيوب
- ٥-٥ الأداء
- ٦-٥ المواد غير المعدنية السيراميكية والزجاجية
- ١-٦-٥ اللدائن (Polymers)
- ٢-٦-٥ اللدائن الحرارية (Thermoplastics)
- ٣-٦-٥ اللدائن المتصلدة حرارياً (Thermosets)
- ٤-٦-٥ المطاط (Elastomers)
- ٥-٦-٥ المواد المركبة (Composites)

الفصل السادس / تصميم عملي لليزر CO₂ ذي الموجة المستمرة ومعاملات التشغيل

- ١-٦ المقدمة
- ٢-٦ الفجوة البصرية
- ٣-٦ الأجزاء الميكانيكية
- ٤-٦ منظومة التفريغ ووحدة تجهيز الغازات
- ٥-٦ مجهز القدرة الكهربائية وأجهزة القياس
- ٦-٦ منظومة التبريد
- ٧-٦ تشغيل المنظومة
- ٨-٦ منظومة القطع
- ٩-٦ معاملات التشغيل وخصائص الأداء
- ١-٩-٦ قياس قدرة الخرج الليزري
- ٢-٩-٦ تحديد كفاءة المنظومة
- ١٠-٦ مواصفات حزمة الليزر الخارجة
- ١-١٠-٦ حساب قطر الحزمة الخارجة
- ٢-١٠-٦ حساب إنفراجية الحزمة الخارجة

- ٣-١٠-٦ تحديد النمط العامل والنمط الكاوسي
٤-١٠-٦ حساب عدد فرينيل للمرنان
١١-٦ علاقة فولتية التفريغ بضغط الغاز
١٢-٦ تحديد استقرارية أداء المنظومة كدالة للزمن
١٣-٦ قياس كثافة قدرة الخرج كدالة للقدرة الداخلة
١٤-٦ اختبار المنظومة في التطبيقات الصناعية
١-١٤-٦ قطع المواد غير المعدنية
٢-١٤-٦ نتائج قطع البلاستيك

الاستنتاجات والعمل المستقبلي
المصادر

مقدمة الكتاب

لم تستطع العقود الأخيرة الماضية أن تكسر القاعدة التي رسخها واقع استخدامات أشعة الليزر، ومفادها أن الليزر هو "حل يبحث عن مشكلة"، إذ لم يترك الليزر حيزاً تطبيقياً دون أن يقتحمه مثبته كفاءته وتميزه على ما عداه من الطرائق والتقنيات التقليدية. كما أن أياً من هذه التقنيات والطرائق التقليدية لم يعد يمتلك ميزة انخفاض الكلفة التي امتازت بها على الليزر طيلة العقود الأولى التي أعقبت اكتشاف الليزر، فالانخفاض المستمر في كلفة صناعة الليزرات عموماً، وليزرات ثنائي أوكسيد الكربون خصوصاً، يكاد يكتب نهاية تامة لهذه الميزة ويضع الليزر في متناول المستخدمين جميعاً، والصناعيين منهم على وجه الخصوص، ووفقاً لطلباتهم ورغباتهم من حيث المواصفات والخصائص.

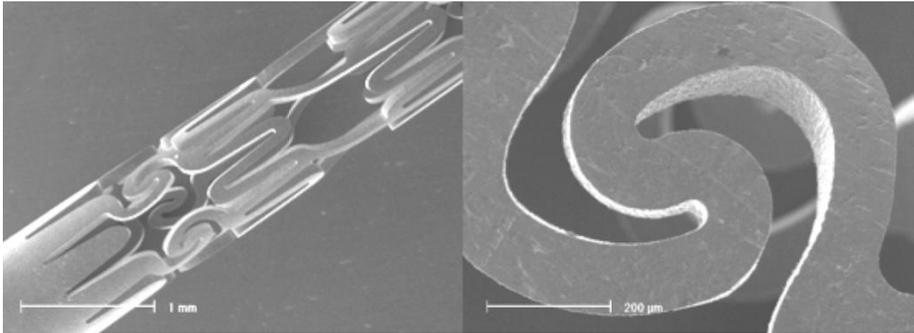
لقد لعبت فيزياء وهندسة الليزر دوراً مهماً في زيادة الجانب النوعي لمنظومات الليزر الصناعية وخفض كلفة تصنيعها وإنتاجها لتلبية حاجة ماسة لهذه الأداة الدقيقة، وقد بلغت حدود النوعية العالية لليزر أن اقتحمت ميدان إنتاج التراكيب فائقة الدقة (النانو) سواء كأداة لإنجاز العمليات الهندسية الدقيقة، أم كمصدر طاقي لإنتاج وتحضير مثل هذه التراكيب من خلال تقنية الإزالة بالليزر، أم كأداة للتشخيص والقياسات غير الإتلافية لخصائص مثل هذه التراكيب، إذ ليس هنالك محددات عملية أمام استخدام الليزر في أي من هذه الجوانب التطبيقية.

إن تناول القطع بالليزر في كتاب يشتمل على الكثير من التفاصيل النظرية والعملية لهذا التطبيق جاء استجابة لحاجة حقيقية لدى القارئ العربي المختص والمهتم على الصعيدين الأكاديمي والتطبيقي من خلال بسط مفاهيم هذا الفرع المعرفي وسبر أغواره وجعلها في متناول المستخدم خاصة بعد أن أصبحت الأسواق العربية قادرة على استيعاب حملة الاختصاص ونتائجهم البحثية والصناعية على طريق تنشيط الحركة الصناعية التي يعد هذا التطبيق (القطع) ومثيلاته من أركانه الأساس. كذلك، فإن الاتجاه الذي تشهده أقطار عربية عدة نحو التنمية الصناعية إنما تبدأ بتوظيف التقنيات المتقدمة وضبط معاييرها قبل الشروع بتحقيق الاتساع العمودي لخطط التنمية هذه.

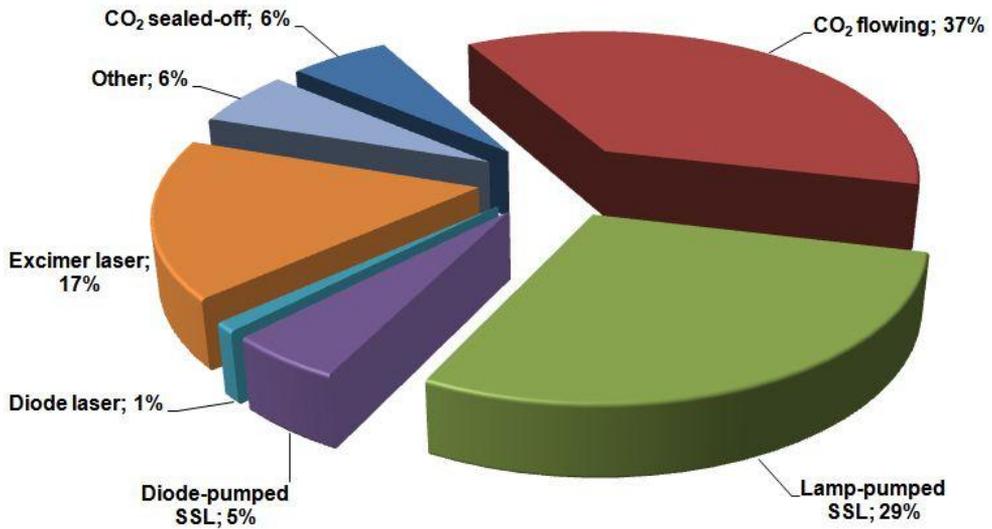
إن عمليات القطع بالليزر تزيد من مساحة تواجدها في حياتنا اليومية المعاصرة مشتملة على مدى واسع ومهم من الاستخدامات، حيث نرى عند أحد طرفي هذا المدى المهم عمليات

القطع المبرمجة للهيكل الكبيرة والتصاميم المعقدة مروراً بعمليات الاستئصال الدقيق للأورام الخبيثة في جسم الإنسان، فيما نشهد عن الطرف الآخر من هذا المدى المهم صناعة الأيقونات والدروع التكرمية التي تقدم لذوي التميز والإبداع في النشاطات والفعاليات المتنوعة، ناهيك عن التطبيقات التي تشتمل على إجراء عمليات القطع بالليزر بشكل ضمني أو غير مباشر لتحقيق أهداف بحثية وصناعية محددة، كما هو الحال في المخطط الانسيابي لتصنيع العناصر والمكونات الدقيقة التي تقوم عليها التقنيات الحديثة اليوم. والأشكال التالية توضح صورة مجهرية لتراكيب أنتجت من خلال عمليات القطع الدقيق بالليزر للأغراض الطبية، فيما يوضح الشكلان الآخران واقع مبيعات الليزرات المستخدمة في التطبيقات الصناعية في السوق العالمية، ويتضح أن ليزرات ثنائي أكسيد الكربون بأنواعها المختلفة تحتل الصدارة (٤٣%) من مجمل المبيعات. كما يتضح أن تطبيق القطع يحتل المرتبة الثانية من مجمل التطبيقات الصناعية لليزرات عالمياً.

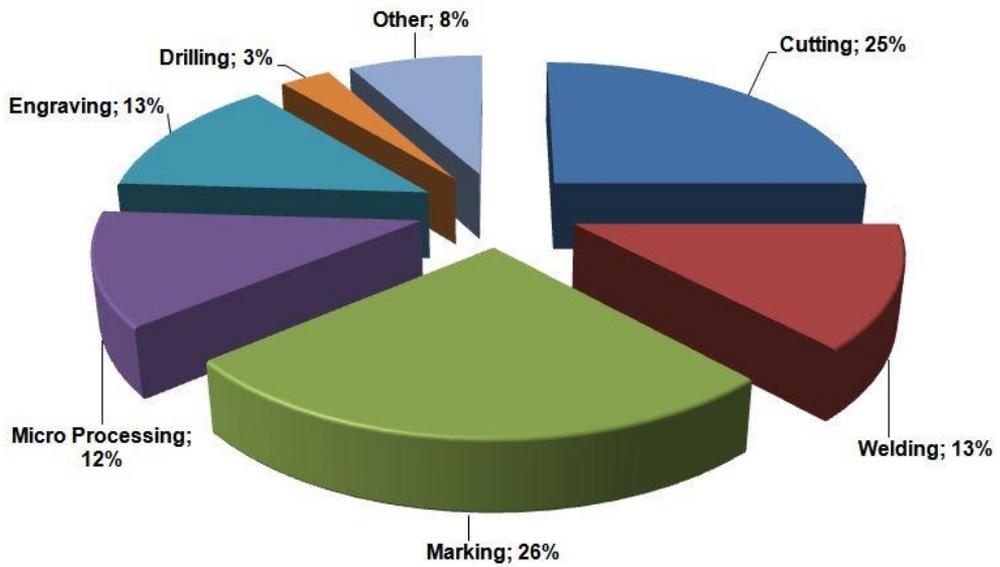
يمكن لهذا الكتاب أن يمثل دليلاً تعليمياً وتطبيقياً للراغبين في امتلاك منظومة ليزر مصنعة محلياً لاستخدامها في تطبيقات القطع، بغض النظر عن ضرورة الحصول على مؤهل أكاديمي عالٍ أو خبرات تقنية وفنية متقدمة. وعلى الرغم من الوصف المبسط آنفاً، فإن هذا الكلام إنما يوجّه أساساً للمختصين والعاملين في حقل الليزر وتطبيقاته علاوة على أولئك العاملين في الحقل الصناعي الدقيق ممن يمكن أن يحل لهم الليزر مشكلات فنية أو يتجاوز معوقات لم تستطع التقنيات والطرائق التقليدية حلها أو تجاوزها.



تراكيب دقيقة أنتجت من خلال القطع بالليزر للأغراض الطبية



مبيعات الليزر المستخدمة في التطبيقات الصناعية



توزيع التطبيقات الصناعية لليزر

اشتمل الكتاب على ستة فصول متميزة. ففي الفصل الأول، جرى تقديم الأسس الفيزيائية لنظرية الليزر والمعادلات الحاكمة لها، كالامتصاص والنبعاث التلقائي والبحث المحفز وصولاً إلى النظرية العامة لليزر وتصنيفاته من حيث حالة الوسط الفعال وما يميز بعضها عن البعض الآخر. وجاء التركيز في الفصل الثاني على ليزر ثنائي أكسيد الكربون ابتداءً بمراجعة البحوث والأدبيات السابقة التي تناولت هذا النوع من الليزرات، ومبدأ عمله، وأدوار مكونات الوسط الفعال فيه، والجوانب الكهربائية والإلكترونية والحرارية المتضمنة، والعوامل المؤثرة على أدائه، وأنواع ليزرات ثنائي أكسيد الكربون المعتمدة ومزاياها. وفي الفصل الثالث، جرى استعراض الجوانب البصرية الخاصة بليزرات ثنائي أكسيد الكربون ابتداءً بالمرنان البصري، والمواد التي تصنع منها أجزاؤه وخصائصها، وأهم العمليات التي تحكم الأداء البصري لشعاع الليزر كالتكبير والانفراجية والترصيف البصري. وفي الفصل الرابع، اهتمت ببيان التأثيرات الجوية على انتقال حزمة ليزر ثنائي أكسيد الكربون في الجو، إذ لا يتم نقل هذه الحزمة بواسطة الألياف البصرية، كما هو الحال في أنواع أخرى من الليزرات، وعليه فإن حزمة ليزر ثنائي أكسيد الكربون يمكن أن توصف بأنها أداة حرارية يمكن العمل بها عن بعد، وبذلك فإنها تخضع للتأثيرات الجوية بشكل كبير. واشتمل الفصل الخامس على تفاصيل نظرية وعملية لعملية القطع بالليزر، فابتدأ باستعراض أهم الآليات التي تتم من خلالها عملية القطع بالليزر، والاعتبارات التي يجب الأخذ بها عند اختيار الليزر كأداة لإنجاز عملية القطع، وخواص المواد المقطوعة بالليزر وشروط الأداء النموذجي، ليختتم الفصل باستعراض أهم المواد غير المعدنية التي يمكن قطعها بالليزر، وهو الهدف الأساس من مادة هذا الكتاب. أما الفصل السادس، فقد جاء بشيء من التفصيل لاعتبارات تصميم منظومة الليزر المستخدمة في عمليات القطع من حيث الأجزاء البصرية والميكانيكية والكهربائية وملحقاتها، وكذلك اعتبارات تشغيل المنظومة ومعايرة أدائها وتحديد خصائصها ومتغيراتها، وصولاً إلى نتائج عملية لقطع المواد غير المعدنية باستخدام حزمة الليزر التي يمكن الحصول عليها من هذه المنظومة، وهو ما تم فعلاً بناءً على نتائج عملية حقيقية لمؤلف الكتاب، إذ جرى تقديم هذه النتائج في إطار نموذجي يصلح للمقارنة والقياس.

لقد نهل المؤلف مادة الكتاب من أكثر من مائة مصدر علمي تنوعت ما بين كتب مطبوعة وبحوث منشورة ورسائل جامعية، فضلاً عن العمل المختبري له شخصياً وكذلك الدعم الذي تلقاه من أساتذته وزملائه في حقل الاختصاص، وهدفه من كل ذلك هو أن يضع بين يدي القارئ العربي الكريم - من المهتمين بموضوع الكتاب - مادة علمية رصينة ومتكاملة ومؤهلة

للاعتقاد والإشارة كمصدر علمي. كما جاء هذا الكتاب تتويجاً لعمل المؤلف وخبرته المكتسبة في هذا الحقل المعرفي طوال سنوات، وهذا ما شجعه على توثيق عمله وخبرته في عمل يسير كهذا ما يعد سابقة على صعيد المكتبة العربية التي تشتمل بلا شك على مصادر جيدة تناولت الليزر وتطبيقاتها، ومع ذلك فإن المؤلف رأى في كتابه هذا امتيازاً نوعياً من حيث تناوله لتطبيق محدد من تطبيقات الليزر - ألا وهو القطع - فبسط مفاهيمه العلمية أمام القارئ وفتح ثنياه النظرية والعملية وقدم مثلاً تطبيقياً نموذجياً قائماً على تلك المفاهيم والأسس. كما أن المصادر التي تناولت موضوع القطع بالليزر باللغات الأخرى غير العربية - الإنجليزية خصوصاً - تعد اليوم بالمئات دون أن يكون لها نظير على صعيد المكتبة العربية المتخصصة. إن الغاية من هذا الكتاب لا تقف عند حدود الوصف النظري والعملي للقاطع الليزري ذي الموجة المستمرة، بل تتعدى ذلك إلى محاولة تأسيس قاعدة للأعمال والأدبيات التي تناولت تطبيقات أخرى لأشعة الليزر بالتفصيل والدقة في سعي جاد لإرساء قواعد الاختصاص للمستفيد الحقيقي (والقارئ العربي طبعاً) على الصعيدين الأكاديمي والتطبيقي في محاولة لإنهاء الاحتكار الفكري العلمي والتقني من قبل صانعي مثل هذه المنظومات ومورديها إلى المنطقة العربية عموماً خاصة مع التزايد المستمر لتوظيف الليزر في المجالات الصناعية الأولية والمتقدمة في بلداننا اليوم.

المؤلف

المصادر

- [1] Verdeyen, J. T., "Laser Electronics", Prentice-Hall, Inc., (New Jersey), 1981, p.325, 155.
- [2] Svelto, O., "Principles of Lasers", 3rd edition, Plenum Press (New York), 1989, p. 270.
- [3] Migliore, L., "Laser Materials Processing", Marcel-Dekker Inc. (New York), 1996, pp1-30.
- [4] Patel, C. K. N., Phys. Rev. Lett. Vol.13, No.21, 1964, p.811.
- [5] Cheo, P.K., "CO₂ Lasers", in Lasers, edited by A. K. Levine and A. J. DeMaria, Marcel-Dekker, Inc. (New York), 1971, pp 111-267.
- [6] Patel, C. K. N., Appl. Phys. Lett. Vol.7, 1965, p. 15.
- [7] Witteman, W.J., Physics Letters, Vol.18, No.2, 1965, pp 125-127.
- [8] Sviridov, A., Sobolev, N. and Tselikov, G., JETP Lett. Vol.6, 1967, p.62.
- [9] Deutsch, T., Horrigan, F. and Rudko, R., Appl.Phys.Lett. Vol.15, No.3, 1969, pp.88-91.
- [10] Tiffany, W., Targ, R. and Foster, J., Appl. Phys. Lett. Vol.15, No.3, 1969, pp.91-94.
- [11] Nighan, W. L., Phys. Rev. (A), Vol.2, No.5, 1970, pp.1989-2000.
- [12] Bletzinger, P. et al., IEEE J. QE, Vol.11, No.7, 1975, pp.317-323.
- [13] Lotkova, E., Ochkin, V. and Sobolev, N. IEEE J. QE, Vol.7, No.8, 1971, pp.396-402.
- [14] Bullis, R. H., et al., AIAA Journal, Vol.10, No.4, 1972, pp 407-413
- [15] Rosser, W., Hoag, E. and Gerry, E., J. Chem. Phys. Vol.57, No.10, 1972, pp.4153-4164.
- [16] De Maria, A. J., Proceeding of IEEE, Vol.61, No.6, 1973, pp 731-748.
- [17] Jacobs, R., Thomass, S. and Pettipiece, IEEE J. QE, Vol.10, No.5, 1974, pp..480-486.
- [18] Reid, J. and Siemsen, K., IEEE J. QE, Vol.14, No.4, 1978, pp.217-220.
- [19] Siemsen, K. and Reid, J., IEEE J. QE, Vol.16, No.6, 1980, pp.668-676.
- [20] Hara, H. and Fujisawa, A., Appl. Phys. Lett., Vol.38, No.2, 1981, pp.65-66.
- [21] Stein, A., IEEE J. QE, Vol.18(9), 1982, pp.1321-1322.
- [22] Krug, P., Infrared Phys. Vol.22, 1982, pp.349-356.
- [23] Nevdakh, V., Infrared Phys. Vol.25, 1985, pp.743-749.
- [24] Harry, J. and Evans, D., IEEE J. QE, Vol.24, No.3, 1988, pp.503-506.
- [25] Burlamacchi, P., Tofani, A. and Vanni, P., Opt. Quant. Electron. Vol.20, 1988, pp.219-226.
- [26] Byron, S.R. and Apter, H., J. of Appl. Phys. Vol. 74, No. 7, 1995, pp.1976-1978
- [27] Grachev, G. et al., SPIE Proc. Vol.2702, 1996, pp. 407-718.

- [28] Mancini, R., Fronzillio, D. and Mossi, G., *Appl. Opt.* Vol.35, No.5, 1997, pp.166-169.
- [29] Duley, W.W., "CO₂ Lasers, Effects and Applications", Academic Press (NY), 1976, pp 1-124.
- [30] Banwell, C.N., "Fundamentals of Molecular Spectroscopy", 3rd edition, McGraw-Hill Book Co. (London), 1983, p.92.
- [31] Heeman-Illieva, M., Ph.D. thesis, Univ. of Twente, The Netherlands, 1994, p.3.
- [32] Stanley, C. R., *Optics and Laser Technology*, Feb. 1971, pp 12-17.
- [33] Schulz, G.J., "A Review of Vibrational Excitation of Molecules", in *Principles of Laser Plasmas*, edited by G. Bekefi, 1976, pp 33-88.
- [34] Nam, K.H., Seguin, H.J.J. and Tulip, J., *IEEE J. of QE*, Vol.15, No.1, 1979, pp. 44-50.
- [35] "Lasers, Operation, Equipment, Application and Design", Cohrerent, Inc., 1980, p. 5.
- [36] Ishii, T. K., "Maser and Laser Engineering", Robert Kreiger Pub.Co. (NY), 1980, p.172.
- [37] Willet, C. S., "Introduction to Gas Lasers", Pergamon Press (Oxford), 1974,p.273.
- [38] Abel, R., Li, J. and Christiansen, W., *IEEE J. of QE*, Vol.24, No.8, 1988, pp 1489-1491.
- [39] Offenberger, A.A, Kerr, R.D.and Smy, P.R., *J. of Appl.Phys.*Vol.43, 1972, p.547.
- [40] Howatson, A.M., "An Introduction to Gas Discharge", 2nd edition, Pergamon Press (Oxford), 1965, pp.84-91.
- [41] Bonnie, R., Ph.D. thesis, University of Twente, The Netherlands, 1989, p.2.
- [42] Rooth, R.A., Ph.D. thesis, La Trobe University, Australia, 1996, p.4.
- [43] Shields, H. and Smith, A., *Appl. Phys.* Vol.16, 1978, pp.111-118.
- [44] Muller, S. and Uhlenbusch, J., *J. of Phys. D:Appl. Phys.* Vol.20, 1987, pp 697-708.
- [45] *Gas Lasers*, editors: M. Endo and R.F. Walter, CRC Press (London), 2007, Ch. 1, p. 29-37, Ch. 6A, p. 258
- [46] von Angel, A., "Ionized Gases", 2nd ed., Clarendon Press (Oxford), 1955, pp 217-257.
- [47] Udelson, B. J. and Creedon, J. E., *Phys. Rev.* Vol.88, 1952, p. 145.
- [48] Witteman, W. J., "The CO₂ Laser", Springer-Verlag (Berlin), 1987, p. 161.
- [49] Letkhov, V. and Ustinov, N., "Power Lasers and their Applications", harwood academic publishing (New York), 1983, p.33.

- [50] Luhs, W. and Schubert, W., "CO₂ Laser Work Station", MEOS Corp. (Merdingen, Germany), 1997, pp.1-26.
- [51] Smith, A., "Plasma Chemistry", in *Lasers; Physics, Systems and Techniques*, edited by W.J. Firth and R.G. Harrison, Scottish Univ. Summer School in Physics, 1983,p.260.
- [52] Takenaka, Y., Kuzumoto, M. and Yasui, K., *IEEE J. of QE*, Vol.28, No.9, 1992, p.1855.
- [53] Courtois, D., et al., *Optics and Laser Technology*, June 1981, p.155.
- [54] Morikawa, E., *J. of Appl. Phys.* Vol.48, No.3, 1977, pp 1229-1238.
- [55] Novgorodov, M.Z., Sviridov, A.V and Sobolev, N.N, *IEEE J. of QE*, Vol.7, 1971,p.508.
- [56] D.J. Knapp, *Design and Performance of a Sealed CO₂ Laser*. Available online.
- [57] Harry, J.E., "Industrial Lasers and Their Applications", McGraw-Hill Book Co. (London), 1974, p. 49.
- [58] Gross, R. and Bott, J., "Handbook of Chemical Lasers", John-Wiley & Sons (New York), 1976, p.20.
- [59] Sherman, G.H., "CO₂ Laser Optics", *Electro-Optic System Design (EOSD)*, June 1982.
- [60] Worrel, C.A., *J. of Material Science*, Vol.21, 1986,pp781-787.
- [61] Carter, W.H., *Appl. Opt.* Vol.19, 1980, pp1027-1029.
- [62] Cesele M., "**Fundamentals of Light Sources and Lasers**", John-Wiley & Sons, Inc. (NJ) (2004), Ch. 4, 102, Ch. 11, p. 286.
- [63] Kingslake, R., *Applied Optics and Optical Engineering*, Vol.1, Academic Press (New York), 1968, pp 190-197.
- [64] ORIEL Catalog, vol.III, 1988.
- [65] Ali, S.R., "Atmospheric Absorption around 10 Micron Wavelength", M.Sc. thesis, University of Technology (Baghdad, Iraq), 1999, Ch. 1, p. 1.
- [66] S.R. Hulme, *Optics and Laser Technology*, 1982, p.213.
- [67] G. Waldman and J. Wootton, "**Electro-optical Performance Modelling**", Artech house Inc. (Boston, USA), 1993, p.97, 84.
- [68] R.D. Hudson and J.R. Hudson, "**Infrared System Engineering**", John-Wiley Sons (NY), 1969, p.162.
- [69] J.W. Strohbelin, "**Laser Propagation in the Atmosphere**", *Topics in Applied Physics* (Springer-Verlag), vol.25, 1978, p.215.
- [70] V. Chimelis, Extinction of CO₂ laser radiation under adverse weather conditions, Report no Afwal IR-81, 1982, p.1280.
- [71] M. Ross, "**Laser Receivers: Devices, Techniques and Systems**", John-Wiley & Sons Inc., 1966, Ch. 8.

- [72] M. Bertolotti, Effects of Atmosphere on the Propagating Laser Beams, Proc. of the course on Lasers and Their Applications, Erice, Italy, 31 May-13 June 1970, Gordon and Breach, 1976 (London, UK), pp.349-413.
- [73] Vasko, "**Infrared Radiation**", Iliffe Books Ltd. (Czechoslovakia), 1968.
- [74] Ion, J.C., "**Laser Processing of Engineering Materials**", Elsevier (Oxford), 2005, Ch. 14, 347-383.
- [75] Miyamoto, I. and Maruo, H., Welding in the World, Vol.29, No. 9/10, 1991, 283-294.
- [76] Ivarson, A., Powell, J., Kamalu, J. and Magnusson, C., J. of Mater. Process. Technol., Vol.40, 1994, 359-374.
- [77] Powell, J., King, T.G., Menzies, I.A. and Frass, K., Optimisation of pulsed laser cutting of mild steels, in: Quenzer, A. ed. Proc. of the 3rd Int. Conf. Lasers in Manufacturing (LIM-3), 3-5 June 1986, Paris, France, Bedford: IFS Publications/Berlin: Springer-Verlag. pp. 67-75.
- [78] Geiger, M., Schubert, S. and Hutfless, J., Welding in the World, Vol.37, No.1, 1996, 5-11.
- [79] Keilmann, F., Hack, R. and Dausinger, F., Opto and Laser Europe, Vol.9, 1992, 20-24.
- [80] Arai, T. and Riches, S., Thick plate cutting with spinning laser beam, in: Fabbro, R., Kar, A. and Matsunawa, A. eds Proc. of the Laser Materials Proc. Conf. (ICALEO '97), Orlando: Laser Institute of America. pp. B19-B26.
- [81] Molian, P.A., J. of Mater. Sci., Vol.28, 1993, 1738-1748.
- [82] Hsu, M.J. and Molian, P.A., Dual gas-jet laser cutting of thick stainless steel. In: Matsunawa, A. and Katayama, S. eds Proc. of the Conf. Laser Advanced Materials Processing (LAMP '92), Osaka, Japan: High Temperature Society of Japan and Japan Laser Processing Society, 1992, pp. 601-606.
- [83] Birkett, F.N., Herbert, D.P. and Powell, J., Prevention of dross attachment during laser cutting. In: Kimmitt, M.F. ed. Proc. of the 2nd Int. Conf. Lasers in Manufacturing (LIM-2), 26-28 March 1985, Birmingham, UK. Bedford: IFS (Publications) Ltd. pp. 63-66.
- [84] Locke, E.V. and Hella, R.A., IEEE J. of QE, Vol.10, No.2, 1974.
- [85] Bass, M., "Laser Material Processing", Northland-Holland Pub. Co., 1983, p.
- [86] von Allmen, M. and Blatter, A., "Laser-Beam Interactions with Materials", 2nd edition, Springer-Verlag (Berlin), 1995, pp. 68-114, 137.
- [87] Stein, A., IEEE J. of QE, Vol.18, No.9, 1982, pp.1321-1322.
- [88] Olsen, F., Laser Cutting, European Postgraduates Studies, ELA (Euro Laser Academy), Liverpool, 1994, pp.1-32.

- [89] Wilson, J. and Hawkes, J., "Lasers Principles and Applications", Prentice-Hall International Ltd. (London), 1987, p.195.
- [90] Steen, W.M. and Kamalu, J.N., "Laser Cutting", Northland-Holland Pub.Co.1991, pp15-97.
- [91] Engel, S. L., "Laser Cutting of Thin Materials", in Laser in Modern Industry, Edited by J. F. Ready, 1979, pp.207-211.
- [92] Van Halewijn, H.J., "Laser Material Processing", in the Industrial Laser Handbook, Springer-Verlag, 1992, pp 108-112.
- [93] Pipko, A., et al. "Fundamentals of Vacuum Techniques", MIR Publishing (Moscow), 1981, pp 75-153.
- [94] Sonde, B., "Power Supplies", Vol. 5, TATA McGraw-Hill Publishing Co. (New Delhi), 1980, pp 6-15.
- [95] Kavlenkii, D. et al, Bulgar. J. Phys. Vol.25, No.3, 1998, pp. 322-326.
- [96] Abrams, R.L. and Chester, A.N, Appl. Opt. Vol.13, 1974, pp2117-2125.
- [97] Koechner, W., "Solid-State Laser Engineering", Springer-Verlag (Berlin), 1992, pp367-374.
- [98] Ibrahim, A.A. et al., Design, construction and operation of CW CO₂ laser, J. of Iraqi Atomic Energy Comm., 2(2), 2000, 6-10.
- [99] Haider, A.J. and Hamadi, O.A., Characteristics of energy transfer in mini-TEA CO₂ laser system, J. of Eng. and Technol., 20(2), 2001, 612-617.
- [100] Al-Rubaiey, N.A., Raouf, D.N. and Hamadi, O.A., Construction of single-mode 60W CW CO₂ laser, J. of Eng. and Technol., 22(1), 2003, 1-8.
- [101] Simon, J.A. and Hamadi, O.A., Cutting of fiber-reinforced plastics by CW CO₂ laser, Iraqi J. of Phys., 2(2), 2003, 8-14.
- [102] Hamadi, O.A., Markub, R.A. and Ahmed, M.A., Cutting of Ceramic by CW CO₂ Laser, Al-Mustansiriya J. of Sci., 12(6), 2001, 307-309.
- [103] Al-Rubaiey, N.A., Hamadi, U.A. and Raouf, D.N., Effect of gas mixture on output characteristics of a CW CO₂ laser, Iraqi J. of Laser, 1(1), 2003, 1-6.
- [104] Hamadi, O.A., HAZ extent analysis in fiber-reinforced plastic grooving by laser, Iraqi J. of Appl. Phys. (IJAP), 1(1), 2005, 1-7.
- [105] Hamadi, O.A., Raouf, D.N. and Al-Rubaiey, N.A., Effect of Self-Absorption on the Output Power of CW CO₂ Laser, Iraqi J. of Appl. Phys. Lett., (IJAPLett), 2(1), 2009, 31-34.

الفهارس

فهرست الأشكال والرسوم والصور

رقم الشكل	عنوان الشكل	الصفحة
1-1	عمليات الامتصاص والانبعث التلقائي والانبعث المحفز ما بين مستويات الطاقة	
1-2	مخطط يوضح عملية التضخيم في الوسط الفعال لليزر	
1-3	الأنماط الاهتزازية لجزيئة CO ₂	
1-4	مخطط آلية تهيج جزيئة CO ₂	
2-1	مستويات الطاقة الاهتزازية في الحالة الإلكترونية الأرضية في جزيئتي CO ₂ و N ₂ ومستويات الطاقة الدورانية لحالتين اهتزازيتين متتاليتين في جزيئة CO ₂	
2-2	تأثير وجود غازي الهليوم (He) والنتروجين (N ₂) في ليزر CO ₂ ذي الموجة المستمرة	
2-3	تأثير وجود غاز الهليوم على درجة حرارة الغاز في ليزر CO ₂ ذي الموجة المستمرة	
2-4	تغير درجة حرارة الإلكترون كدالة للضغط الجزئي للغازات في ليزر CO ₂ ذي الموجة المستمرة	
2-5	خصائص تيار-جهد للتفريغ التوهجي ذي المساندة الذاتية	
2-6	التوزيع الفضائي للمناطق المضيفة والمظلمة والمجال الكهربائي والشحنات وكثافات التيار في التفريغ التوهجي	
2-7	علاقة معامل التفكك (α/p) بالنسبة (E/p) لخلطات غازية مختلفة	
2-8	تأثير جريان الغاز على الريح في منظومات ليزر CO ₂ ذات التفريغ الكهربائي المستمر والجريان المحوري للغاز	
2-9	مخطط بسيط لليزر الجريان الطولي لغاز CO ₂	
2-10	مخطط لليزر الجريان الطولي السريع لغاز CO ₂	
2-11	مخطط لليزر CO ₂ ذي الأنبوب المختوم	
2-12	مخطط لليزر CO ₂ موجّه الموجة	
2-13	مخطط لليزر CO ₂ ذي الجريان المستعرض	
2-14	مخطط توضيحي لتصميم ليزر TEA CO ₂	
2-15	مخطط لليزر ديناميك الغاز	
3-1	بعض أشكال حجات الرنين المستخدمة في منظومات الليزر	
3-2	مخطط استقرارية المرئانات البصرية	
3-3	مدى النفاذية للمواد شائعة الاستخدام في ليزرات CO ₂	
3-4	مخطط توضيحي للقواعد المعدنية القابلة للحركة والتنبيت (Bellows) المستخدمة لحمل النوافذ في منظومات الليزر الغازي	
3-5	النفاذية لمدى من الأطوال الموجية لمواد Ge و ZnSe و CdTe	
3-6	صورة فوتوغرافية لبعض الأجزاء البصرية المستخدمة في ليزرات	

	CO ₂	
4-1	أنماط الاستطارة التي تعانيها أشعة الليزر عند انتقالها في الجو	
4-2	النفاذية النسبية للمكونات الأساسية للجو كدالة للطول الموجي	
4-3	تأثير الانتقال عبر الجو على مواصفات حزمة الليزر	
4-4	تأثير الاضطراب الجوي على اتساع حزمة الليزر	
4-5	مفهوم تأثير انتقال حزمة الليزر في الجو على مواصفات الحزمة	
5-1	استخدام الليزر في إنجاز عمليات القطع الدقيق والمتشعبة	
5-2	المبدأ الأساس لعملية القطع بالليزر	
5-3	عرض الشق المرافق لعملية القطع بالليزر	
5-4	مبدأ القطع بالليزر بتوظيف الانصهار	
5-5	مخطط توضيحي لأجزاء منظومة القاطع الليزري الصناعية	
5-6	صورة لمنظومة القاطع الليزري مثبتاً على ذراع الي	
5-7	مخطط توضيحي لعناصر عملية القطع بالليزر	
5-8	أشكال ذات تصاميم معقدة من عينات غير معدنية مقطوعة بالليزر	
5-9	التصاميم الشائعة لنفاث الغاز المساعد في رأس القاطع الليزري	
5-10	تصميم تخطيطي لرأس القاطع الليزري	
5-11	استخدام الماء لتبريد منطقة العمل	
5-12	مفهوم الشق في العينة المقطوعة بالليزر	
5-13	عيوب التعامد في منطقة القطع	
5-14	صورة لقطع أنجز باستخدام ليزر CO ₂ ذي الموجة المستمرة في عينة من اللدائن المتصلبة حرارياً	
6-1	مخطط لأنبوب التفريغ ذي الغطاء الزجاجي	
6-2	مخطط قطب التفريغ الكهربائي	
6-3	مخطط قطب التوصيل الواسطي	
6-4	مخطط لمسدن تثبيت المرايا أو النوافذ	
6-5	دائرة مجهز القدرة الكهربائية المستخدم في هذا التصميم	
6-6	مخطط لتجميع المنظومة في حالة استخدام أنبوب تفريغ واحد	
6-7	مخطط لتجميع المنظومة في حالة استخدام أنبوبي تفريغ	
6-8	صورة لمنظومة ليزر ثنائي أكسيد الكربون ذي الموجة المستمرة المستخدمة في عمليات القطع	
6-9	تغير قدرة الخرج الليزري مع ضغط الغاز عند قيم مختلفة لتيار التفريغ (R ₂ =60%, L=160cm)	
6-10	تأثير تغير نسبة غاز CO ₂ في خليط الغازات على قدرة الخرج الليزري	
6-11	تأثير تغير نسبة غاز N ₂ في خليط الغازات على قدرة الخرج الليزري	
6-12	تأثير تغير نسبة غاز He في خليط الغازات على قدرة الخرج الليزري	
6-13	علاقة قدرة الخرج الليزري بتيار التفريغ عند قيم مختلفة للضغط الكلي للغاز	
6-14	تأثير سرعة سحب مضخة التفريغ للغازات على قدرة الخرج الليزري	
6-15	تأثير انعكاسية المرآة الأمامية على قدرة الخرج الليزري عند تيار تفريغ	

	45mA ومعدل جريان 50L/min	
6-16	علاقة قدرة الخرج الليزري بتيار التفريغ عند قيم مختلفة لانعكاسية المرآة الأمامية عند ضغط كلي 10 torr	
6-17	تغير قدرة الخرج الليزري مع تغير طول الوسط الفعال عند ضغط كلي 10 torr ومعدل جريان 50 L/min	
6-18	تغير قدرة الخرج الليزري مع تغير القدرة الداخلة	
6-19	علاقة الكفاءة الكلية للمنظومة بالقدرة الكهربائية المجهزة أو الداخلة عند ضغط 10 torr	
6-20	علاقة الكفاءة الكلية للمنظومة بضغط الغاز داخل أنبوب التفريغ عند تيار تفريغ 45mA	
6-21	علاقة الكفاءة الكلية للمنظومة بتيار التفريغ الكهربائي عند ضغط 10 torr	
6-22	تأثير طول الوسط الفعال على قطر الحزمة الخارجة	
6-23	علاقة زاوية الانفراج بطول الوسط الفعال	
6-24	توزيع الشدة في حالة استخدام الصفيحة المثقوبة (Aperture) مرة وعدم استخدامها مرة أخرى	
6-25	تغير قيمة عدد فرينيل (N) مع تغير طول المرنان (L)	
6-26	تغير خسائر الحيود داخل المرنان ($\square_{diff.}$) مع تغير طول المرنان (L)	
6-27	علاقة فولتية التفريغ بضغط الغاز داخل أنبوب التفريغ لقيمة محددة لتيار التفريغ	
6-28	استقرارية قدرة الخرج الليزري كدالة لزمن التشغيل	
6-29	تغير كثافة قدرة الخرج (P/A) مع تغير القدرة الداخلة	
6-30	التركيب المجهرى لعينات من الزجاج مشبعة عند قدرة 15W (a) (قوة التكبير 50 مرة) و 25W (b) (قوة التكبير 50 مرة) و 40W (c) (قوة التكبير 50 مرة)	
6-31	تغير عمق وعرض منطقة القطع والنسبة الباعية مع تغير قدرة الليزر المستخدمة لقطع عينة من البلاستيك بسمك (2mm)	
6-32	تغير عمق وعرض منطقة القطع والنسبة الباعية مع تغير قدرة الليزر المستخدمة لقطع عينة من البلاستيك بسمك (2.5mm)	
6-33	تغير عمق وعرض منطقة القطع والنسبة الباعية مع تغير قدرة الليزر المستخدمة لقطع عينة من البلاستيك بسمك (3mm)	
6-34	يوضح تغير عمق وعرض منطقة القطع والنسبة الباعية مع تغير سرعة القطع لعينة من البلاستيك سمكها (3mm) عند قدرة (50W)	
6-35	مقطع لمنطقة القطع لعينة من البلاستيك سمكها (3mm) جرى قطعها عند قدرة (50W) ومعدل سرعة قطع (سرعة حركة العينة) مقداره (66cm/s) (قوة التكبير 50 مرة)	
6-36	مقطع لمنطقة القطع لعينة من البلاستيك سمكها (3mm) جرى قطعها عند قدرة (30W) ومعدل سرعة قطع (سرعة حركة العينة) مقداره (66cm/s) (قوة التكبير 50 مرة)	

6-37	مقطع لمنطقة القطع لعينة من البلاستيك سمكها (3mm) جرى قطعها عند قدرة (10W) ومعدل سرعة قطع (سرعة حركة العينة) مقداره (66cm/s) (قوة التكبير 50 مرة)
6-38	العلاقة ما بين سمك العينة المقطوعة والزمن اللازم لقطعها

فهرست الجداول الواردة في الكتاب

رقم الجدول	عنوان الجدول	الصفحة
1-1	الخواص الفيزيائية لبعض المواد المستخدمة في صناعة الأجزاء البصرية لليزرات CO ₂	
5-1	المزايا التقنية النموذجية لعمليات القطع التي توظف أدوات مختلفة	
6-1	خصائص دائرة التقويم القنطري للموجة الكاملة	

قاموس المصطلحات

Thermal equilibrium	الاتزان الحراري
Boltzmann statistics	إحصاء بولتزمان
Groove	الأخدود
Depopulation	إخلاء المستوي
Depolarization	إزالة أو فك الاستقطاب
Scattering	الاستطارة
Rayleigh scattering	استطارة رايلي
Mie scattering	استطارة ماي
Thermal population	الاستيطان الحراري
Flow turbulence	اضطراب الجريان
Atmospheric turbulence	الاضطراب الجوي
Quantum numbers	الأعداد الكمية
Electron affinity	الإلفة الإلكترونية
Absorption	الامتصاص
Fresnel absorption	امتصاص فرينيل
Spontaneous emission	الانبعاث التلقائي
Stimulated emission	الانبعاث المحفز
Sealed-off tube	الأنبوب المختوم
Heat diffusion	الانتشار الحراري
Vibrational-rotational transition	الانتقال الاهتزازي-الدوراني
Resonant energy transfer	انتقال الطاقة الرنيني
Forbidden transition	الانتقال المحظور
Allowed transition	الانتقال المسموح
Bound-free transitions	انتقالات الترابط الحر
P-branch transitions	انتقالات الفرع P
R-branch transitions	انتقالات الفرع R
Radiative transitions	الانتقالات المشعة
Groove lag	انحراف الأخدود
Beam deviation	انحراف الحزمة
Angular deviation	الانحراف الزاوي
Beam steering	انحراف الشعاع
Divergence	الانفرجية
Vibrational mode	أنماط الاهتزاز
Breakdown	الانهيار
Molten pool	بركة المنصهر
Beam spinning	برم أو التفاف الحزمة
External optics	البصريات الخارجية
Focal length	البعد البؤري
Yttrium Aluminum Garnet (YAG)	بلورة الياك
Wear	البلى

Pyroelectric effect	التأثير الكهروحراري
Erosion	التآكل أو التحات
Ionization	التأين
Collisional ionization	التأين التصادمي
Vaporization	التبخير
Self focusing	التبؤر الذاتي
Convexity	التحدب
Mobility	التحركية
Chemical degradation	التدهور أو الانحلال الكيميائي
Image dancing	تراقص الصورة
Optical alignment	الترصيف البصري
Microcracks	التشققات أو الشقوق الدقيقة
Surface morphology	التشكل السطحي
flow disturbance	تشوه الجريان
Elastic collision	التصادم المرن
Inelastic collision	التصادم غير المرن
Thermal imaging	التصوير الحراري
Modulation	التضمين
Perpendicularity	التعامدية
Feedback	التغذية العكسية
Casual changes	التغيرات العرضية
Exothermic reaction	تفاعل باعث للحرارة
Charring	التفحم
Glow discharge	التفريغ التوهجي
Arc discharge	التفريغ القوسي
Electric discharge	التفريغ الكهربائي
Townsend discharge	تفريغ تاونزند
Concavity	التقعير
Polarization fluctuations	تقلبات الاستقطاب
Temporal-phase fluctuations	التقلبات الزمنية للطور
Intensity fluctuations	تقلبات الشدة
Spatial-phase fluctuations	التقلبات الفضائية
Full-wave rectifier	التقويم القنطري للموجة الكاملة
Linear magnification	التكبير الخطي
Angular magnification	التكبير الزاوي
Cracking	التكسر أو التشقق
Detachment	التماس أو الترافق
Striations	التموجات
Excitation	التهييج
Population inversion	التوزيع المعكوس
Critical population inversion	التوزيع المعكوس الحرج

Heat conduction	التوصيل الحراري
Cadmium telluride	تولورايد الكاديوم
Fine tuning	التوليف الدقيق
Tuning	التوليف أو التنعيم
Thermal blooming	التوهج الحراري
Negative glow	التوهج السالب
Attenuation	التوهين
Drive current	تيار التشغيل أو الانسياق
Discharge current	تيار التفريغ
Surge current	تيار لحظة الاشتغال
Eddy currents	التيارات الدوامة
Distortion constant	ثابت التشوه
Rotational constant	ثابت الدوران
Blind holes	الثقوب العمياء
Mechanical bending	الثني الميكانيكي
Germanium	الجرمانيوم
Fast flow	الجريان السريع
Axial flow	الجريان الطولي
Transverse flow	الجريان المستعرض
Low flow	الجريان الواطئ
Aerosols	جسيمات الهواء الجوي
Surface condition	حالة السطح
Optical cavity	الحجرة البصرية
Anharmonicity	حد اللا توافقية
Damage threshold	حد عتبة التلف
Electron beam	الحزمة الإلكترونية
Pitting	الحفر
Heat convection	الحمل الحراري
Slag	الخبث
Scribing	الخدش
Laser output	الخرج الليزري
Surface roughness	الخشونة السطحية
Gas mixture	خلاط الغازات
Rectifier	دائرة التقويم
Gas dynamics	ديناميك الغاز
Robotic arm	الذراع الآلي
Gain	الريح
Small-signal gain	ريح الإشارة الصغيرة
Dross	رغوة المنصهر
Arrival angle	زاوية الاستلام
Angular momentum	الزخم الزاوي

Gallium arsenide	زرنيخيد الكاليوم
Transit time	زمن الاجتياز
Relaxation time	زمن الاسترخاء
Spherical aberration	الزيغ الكروي
Astigmatism	زيغ اللانقطية
Suction capacity	سرعة السحب
Cutting speed	سرعة القطع
Wave surface	السطح الموجي
Brightness	السطوع
Zinc selenide	سيلينيد الخارصين
Threshold condition	شرط العتبة
Transparency	الشفافية
Thermal shock	الصدمة الحرارية
Aperture	الصفحة المتقوية
Hardness	الصلادة
Beats	الضربات
Vibrational energy	الطاقة الاهتزازية
Antireflection coating	طلاء مضاد للانعكاس
Reinforcing phase	الطور المدعم
Delamination	ظاهرة التبتين
Breathing	ظاهرة التنفس
Ripple factor	عامل التموج
Breakdown threshold	عتبة الانهيار
Fresnel number	عدد فرينيل
Instability	عدم الاستقرار
Bandwidth	عرض الحزمة
Natural linewidth	عرض الخط الطيفي الطبيعي
Full-width at half maximum (FWHM)	عرض الخط الطيفي عند منتصف القمة
Kerf width	عرض شق القطع
Excited level lifetime	عمر المستوي المثيج
Finishing	عمليات الإنهاء
Pumping	عملية الضخ
Positive column	العمود الموجب
Inert gas	الغاز الخامل
Active gas	الغاز الفاعل
Voids	الفراغات أو الفجوات
Dark cathode space	فضاء الكاثود المظلم
De-excitation	فك التهيج
Photons	الفوتونات
Stainless steel	الفولاذ المقاوم للصدأ
Craters	الفوهات

Supply power	القدرة المجهزة
Extended droplets	القطرات الممتدة
Continuous cut	قطع متصل
Quantum selection rules	قواعد الانتقاء الكمي
Pyrometer	الكاشف الحراري
Cavity dumping	الكبت داخل الحجرة
Beam power density	كثافة قدرة الحزمة
Heterodyne detection	الكشف الهجين
Conversion efficiency	الكفاءة التحويلية
Total efficiency	الكفاءة الكلية
Quantum efficiency	الكفاءة الكمية
Sodium chloride	كلوريد الصوديوم
Defocusing	اللاتيؤر
Polymers	اللداان
Thermoplastics	اللداان الحرارية
Thermosets	اللداان المتصلبة حرارياً
Free electron laser	ليزر الإلكترون الحر
Waveguide laser	ليزر موجّه الموجة
Semiconductor lasers	ليزرات أشباه الموصلات
Excimer lasers	ليزرات الإكسامير
Solid state lasers	ليزرات الحالة الصلبة
Dye lasers	ليزرات الصبغة
Gas lasers	الليزرات الغازية
Chemical lasers	الليزرات الكيمياوية
Matrix	مادة القالب
Spatter	المادة المتطايرة
flammable	مادة قابلة للاشتعال
Heat exchanger	المبادل الحراري
Chiller	المبرّد
Simpel harmonic oscillator	المتذبذب التوافقي البسيط
Homogeneity	المجانسة
High-voltage probe	مجس الفولتية العالية
Grating	المحرز
Piezo-electric transducer (PZT)	محول كهروضغطي
Free spectral range (FSR)	المدى الطيفي الحر
Transmission range	مدى النفاذية
Output coupler	المرآة الخارجية
Inductance (choke) filter	مرشح الحث أو الخنق
Elstomers	مركبات المطاط
Optical resonator	المرنان البصري
Unstable resonator	المرنان غير المستقر

Hemispherical resonator	المرنان نصف الكروي
Stand-off distance	مسافة المواجهة
Self sustaining	المساندة الذاتية
Lower laser level	مستوي الليزر السفلي
Upper laser level	مستوي الليزر العلوي
Metastable level	المستوي شبه المستقر
Screw	مسمار محوري
Rotary vacuum pump	مضخة التفريغ الدوارة
Single-stage pump	مضخة المرحلة الواحدة
Two-stage pump	مضخة المرحلتين
Glassy	مظهر زجاجي
Ionization coefficient	معامل التأين
Dissociation coefficient	معامل التفكك
Einstein coefficients	معاملات أينشتاين
Mean free path	معدل المسار الحر
Bidirection switch	مفتاح ذو اتجاهين
Q-switching	مفتاح عامل النوعية
Current limiter	مقاومة تحديد التيار
Beam splitter	مقسم الحزمة
Absorption cross section	المقطع العرضي للامتصاص
Stimulated emission cross section	المقطع العرضي للانبعاث المحفز
Vibrational excitation cross section	المقطع العرضي للتهييج الاهتزازي
Power meter	مقياس القدرة
Vacuum gauge	مقياس درجة الفراغ
Beam manipulation	المنورة بالحزمة
Stability diagram	منحني الاستقرار
Optical bench	المنضدة البصرية
Heat affected zone (HAZ)	منطقة الاتساع الحراري
Cathode region	منطقة الكاثود
Far infrared (FIR)	المنطقة تحت الحمراء البعيدة
Near infrared (NIR)	المنطقة تحت الحمراء القريبة
Mid infrared (MIR)	المنطقة تحت الحمراء المتوسطة
Compact system	المنظومة المدمجة
Composites	المواد المركبة
Prism	الموشور
Focal plane position	موضع المستوى البؤري
Optical window	النافذة البصرية
Atmospheric window	النافذة الجوية
Burrs	النتوات
Aspect ration	النسبة الباعية
Beam spreading	نشر الشعاع

Gas nozzle	نفاث الغاز
Bending mode	نمط انحنائي
Temporal mode	النمط الزمني
Symmetric stretching mode	النمط الطولي المتناظر
Asymmetric stretching mode	النمط الطولي غير المتناظر
Spatial mode	النمط الفضائي
Gaussian mode	النمط الكاوسي
Transverse mode	النمط المستعرض
Continuous wave mode	نمط الموجة المستمرة
Brittleness	الهشاشة
Laser active medium	الوسط الفعال لليزر
Scintillation	الوميض