



Abril 17-19, La Habana

Láser de Nd:YAG con ancho de pulso variable para la remoción superficial de contaminantes

M. Arronte[†], L. Ponce, J. L. Cabrera^a, B. Lambert^a, T. Flores.

CICATA-IPN, Altamira, Km 14,5 Carretera Tampico-Puerto Industrial, Altamira 89600, Mexico, arronte@yahoo.com

a) IMRE-UH, Zapata y G, Vedado 10400, C. Habana, Cuba, bra10z@imre.oc.uh.cu

[†]Autor para la correspondencia

Recibido el 1/02/2008. Aprobado en versión final el 14/07/2008.

Sumario. Se presenta el prototipo de un láser de Nd:YAG con ancho de pulso variable en el rango 50 – 500 μ s. El equipo consta de una cavidad portátil para facilitar su aplicación industrial y una fuente de alimentación compacta de 3kW de potencia media. La regulación de ancho de pulso se realiza electrónicamente y permite optimizar la eficiencia en la eliminación de contaminantes superficiales.

Abstract. The prototype of a new Nd:YAG laser with variable pulse duration in 50-500 μ s range is presented. The device has a portable laser cavity in order to facilitate the manual application. The power supply is quite compact for a 3kW power unit. The pulse width regulation is performed electronically, allowing the optimization of contaminants ablation efficiency.

Palabras clave. laser impact on surfaces, 79.20.Ds, Lasers applications of, 42.62.-b

1 Introducción

Desde los primeros trabajos de Asmus¹, la limpieza de superficies con láser mostró importantes ventajas sobre las técnicas convencionales de remoción de contaminantes. Entre ellas podemos mencionar la preservación del relieve superficial del sustrato, la eliminación de reactivos químicos y medios abrasivos con sus consecuencias a largo plazo, la disminución de la carga contaminante y el consumo energético y finalmente la calidad y precisión del método².

En los trabajos desarrollados durante estos años, se demostró la conveniencia del empleo de pulsos muy cortos e intensos, que permiten la remoción de contaminantes mediante mecanismos de ablación bien establecidos. El láser de Nd:YAG en régimen de Q-Switch, se consolidó como el más utilizado por la elevada potencia y corta duración de los pulsos².

Aspectos negativos, que durante un número de años

limitaron la extensión de las aplicaciones; fueron la baja productividad y el elevado costo de los equipos. Por esos motivos, hasta fecha muy reciente el uso comercial se redujo a la limpieza de obras de arte, donde por razones obvias, se justificaba utilizar una técnica costosa y de baja productividad.

Recientemente, con la aparición de equipos de mayor potencia, fueron viables comercialmente las aplicaciones industriales³. Comenzó una rápida expansión en áreas como la limpieza de moldes, reactores, partes automotrices, dispositivos electrónicos y otras de carácter muy específico donde la preservación del relieve era un factor crucial. Algunas empresas comercializan equipos de uso específico con una productividad que permite la aplicación a escala comercial. Sin embargo, el costo de los equipos sigue siendo muy elevado lo cual limita seriamente el campo de aplicaciones que podrían alcanzarse.

Actualmente, los fabricantes de máquinas de limpieza láser utilizan láseres de uso general. Esto significa que

las fuentes de emisión láser que se utilizan son equipos desarrollados con un perfil amplio desarrollados por fabricantes de láseres. Para la máquinas de limpieza hasta el momento sólo se han utilizado equipos que operan en régimen de Q:Switch, que entregan pulsos cortos con duraciones entre 5 y 30 nanosegundos y energía entre 300 y 900mJ o sea potencia de pulso (de algunos MegaWatts) suficiente para conseguir la remoción de virtualmente cualquier material por ablación.

En general el criterio más utilizado para la remoción de capas contaminantes con este tipo de pulsos establece que a mayor espesor de la capa contaminante mayor energía o simplemente mayor número de pulsos. Algunos trabajos han mostrado que en efecto la ablación de los contaminantes puede ocurrir por la acción directa del pulso láser (a bajas energías de pulso) o asistida por la acción de la pluma generada a altas presiones y temperaturas (a altas energías de pulso)⁴.

Un enfoque diferente del proceso de interacción ha sido propuesto en trabajos recientes⁵. La duración del pulso láser se muestra como un parámetro crucial en la interacción, si construyéramos una gráfica de la densidad de energía umbral para remover un espesor dado de material contaminante v.s. duración del pulso láser encontraríamos un mínimo para la duración del pulso adecuada para la remoción de este espesor. En otras palabras podríamos decir que se trata de una interacción “resonante” entre el estímulo del pulso láser y el oscilador que sería la capa contaminante, con una masa proporcional a su espesor y densidad y una constante elástica proporcional a la densidad de energía umbral para la ablación. O sea, no necesariamente para eliminar un mayor espesor de contaminante basta con elevar la densidad de energía para conseguir una remoción eficiente, la ablación se hace más eficiente para pulsos mejor “acoplados” al sistema por su duración temporal y “velocidad” o razón de entrega de energía.

Esto implica la necesidad de desarrollar un sistema láser con ancho de pulso variable en un rango amplio de duraciones de pulso, sistema inexistente en el mercado.

En nuestro trabajo, hemos desarrollado un equipo para limpieza por medio de láser de Nd:YAG, con duración y frecuencia de pulsos variables, apropiado para la remoción de contaminantes de composición y espesor diversos.

2 Desarrollo experimental

Para el láser de Nd:YAG desarrollado en este trabajo se han habilitado dos regímenes de trabajo completamente diferentes que abren el rango de variación de la duración del pulso láser desde el rango de los nanosegundos en un caso hasta de decenas a cientos de microsegundo en el otro:

El primero, en régimen de Q:Switch, sustituyendo los dispositivos electro-ópticos de uso comercial por cristales de YAG:Cr+4, conocidos como moduladores pasivos. Este tipo de moduladores permite obtener no un

pulso único como los dispositivos electro-ópticos sino “trenes” de pulsos más largos manteniendo potencias pico muy elevadas. En este modo de trabajo, el ancho total del tren de pulsos es de aproximadamente 150 μ s, siendo el pulso formado por una serie de pulsos más pequeños de entre 10 y 30ns de duración. En este caso es crucial la conjugación entre la excitación, el por ciento de absorción del Q:Switch y el por ciento del espejo de salida del resonador óptico.

El segundo, consiste en trabajar en régimen de generación libre, donde la duración del pulso láser está acoplada temporalmente a la del pulso de la lámpara de bombeo. En este caso las duraciones de pulso típicas son de varios cientos de microsegundos. En los láseres comerciales, esta duración es fija, pues se determina por la descarga de una batería de condensadores a través de la lámpara. Para nuestro equipo, se desarrolló una fuente de alimentación con diseño original, que permite suministrar a la lámpara de bombeo pulsos de ancho controlable en un rango entre 50 y 500 μ s en pasos de 10 μ s. En correspondencia, esto permite que los pulsos de emisión láser puedan variar su duración en el mismo rango, opción que no poseen los láseres existentes en el mercado. Detalles del diseño de la fuente serán expuestos en próximo trabajo.

2.1 Emisor láser portátil. En la figura 1 se observa una fotografía del emisor láser. Esta parte del equipo fue diseñada buscando la mayor compacticidad y robustez posibles, que permitiesen su uso portátil por un operario.



Figuras 1 y 2. (Izq.) Cavity portátil del láser de limpieza; (der.) vista general del equipo.

En el emisor se encuentran los elementos ópticos que producen la emisión láser. Al centro de la figura se observa la cavidad donde se encuentran el elemento activo, formado por una barra de Nd:YAG:Ce de 5 x 100mm, la lámpara de bombeo de xenón y el reflector especular de cuarzo monolítico dopado con Cerio para absorber la componente ultravioleta de la emisión de la lámpara. La cavidad se enfría mediante circulación de por agua destilada proveniente del sistema de enfriamiento.

A la derecha de la cavidad se observa un bloque de aluminio que contiene el cristal de YAG:Cr+4 que se utiliza como Q:Switch. Este bloque permite conmutar el Q:Switch rotando la ubicación del mismo respecto a la posición del medio activo. El bloque se encuentra en contacto térmico con la cavidad para mantener el Q:Switch a la temperatura apropiada. Los espejos del re-

sonador se encuentran en los extremos del emisor, ubicados sobre soportes regulables. A la extrema izquierda se ubica una lente de enfoque a continuación de la cual se conecta un aditamento para la extracción de los gases que se generan durante el proceso de limpieza. A la extrema derecha se observa un aditamento plástico que permite sostener el emisor y donde se encuentra un interruptor para disparar el láser. Por la tapa inferior entra un conducto a través del cual llegan los cables de alimentación y las mangueras de enfriamiento.

2.2 Fuente de alimentación. El equipo consta de una fuente de alimentación conmutada formada por dos bloques: convertor CA/CD y unidad de disparo.

El convertor en esencia consiste en un circuito PFC (acrónimo en inglés para Power Factor Correction) utilizando un “driver” “L4981A” que controla una llave MOSFET. Este bloque está además dotado de un circuito para proteger el sistema y la línea cuando el bloque se conecta y los condensadores están completamente descargados. El convertor se encarga de mantener cargada una batería de condensadores de 6mF, al voltaje seleccionado por el microcontrolador (entre 300 y 500V).

La unidad de disparo contiene el circuito para el “trigger”, el “simmer” y el disparo de la lámpara. El circuito de “trigger” primeramente establece un potencial de aproximadamente 900 V en los bornes de la lámpara y a través de un transformador de ferrita conectado en serie con la lámpara, ioniza la lámpara mediante pulsos de alto voltaje. El “simmer” consiste en un circuito que establece una corriente continua a través de la lámpara de bombeo con el fin de llevarla a estado de conducción y permitir el trabajo a altas frecuencias de repetición de pulsos. La corriente del “simmer” se controla con una llave MOSFET y una inductancia en serie con la lámpara. Los pulsos de disparo en la lámpara en la lámpara se

controlan con 6 llaves IGBT en paralelo. Esto permite formar pulso de corriente en la lámpara con absoluto control. Las llaves IGBT se manejan desde el bloque de control.

2.3 Bloque de control. Este bloque permite realizar la programación de los parámetros y el control de las funciones del equipo. Está elaborado en base a un microprocesador y permite manejar las siguientes funciones: La energía del pulso a través del voltaje del Convertor, la frecuencia de los pulsos y su duración que se maneja desde las llaves IGBT.

Por otra parte el bloque de control posee funciones de protección como controles de temperatura en la fuente y en la cavidad láser y sensor de control de flujo de agua. Finalmente, el bloque posee una entrada RS232 que permite la programación y la modificación de los parámetros desde una computadora.

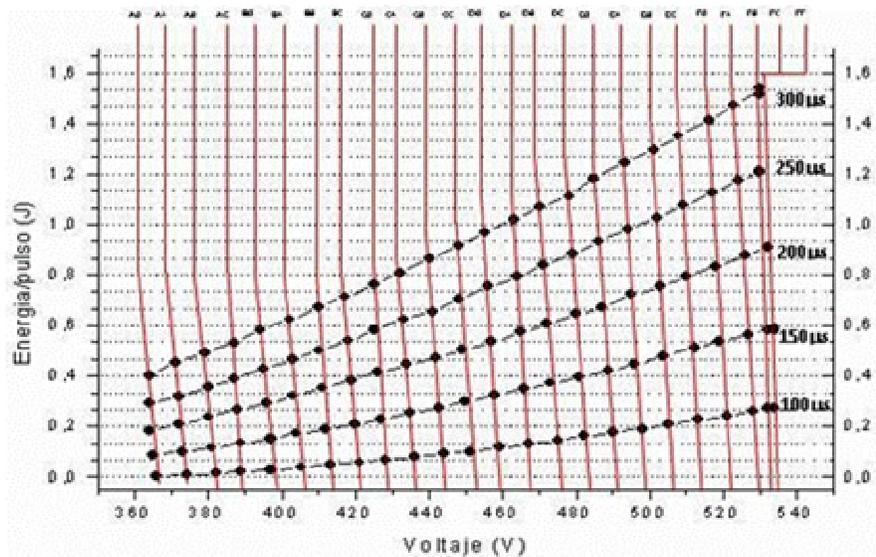
2.4 Sistema de enfriamiento. Contiene un sistema de circulación de agua destilada con filtrado y enfriamiento mediante intercambiadores de calor. A través de sensores de flujo y temperatura se mantiene informado al bloque de control del estado térmico de los diferentes módulos.

3 Caracterización

Una vez terminado el equipo se procedió a una caracterización de los parámetros de emisión.

La energía de pulso fue determinada mediante un medidor de potencia “LaserPoint” con detector piroeléctrico, mientras que la duración de pulso se midió utilizando un detector DET10C de Thorlabs conectado a un osciloscopio TDS 1010.

Figura 3. Dependencia de la energía de pulso respecto al voltaje de la batería de condensadores.



La energía de pulso se determinó para diferentes anchos de pulso y frecuencias de disparo. En la figura 3, se observa una gráfica donde se expone la dependencia de

la energía de pulso en función del voltaje a la salida del convertor CA/CD, para cinco duraciones del pulso láser entre 100 y 300μs. La pendiente de la curva para cada

duración del pulso láser no sigue un comportamiento cuadrático puesto que los pulsos de excitación no son perfectamente cuadrados y por otro lado el espectro de emisión de la lámpara es dependiente de la densidad de corriente en la descarga.

A partir de los resultados experimentales dicha eficiencia fue calculada, resultando de 2 y 2.6% correspondiendo los valores más altos de eficiencia a voltajes por encima de 480V, lo cual corresponde con valores reportados anteriormente para equipos similares.

En resumen el láser desarrollado posee los siguientes parámetros técnicos:

- Método de limpieza: Pulsos láser
- Potencia del láser: Regulable hasta 75W
- Ancho de pulso: Regulable entre 50 y 500 μ s
- Frecuencia de pulsos: Regulable hasta 100pps
- Volumen: 40 x 90 x 85cm
- Peso: 90kg
- Consumo eléctrico: 3.3kW (máximo, incluye sistema de enfriamiento)

4 Conclusiones

Se desarrolló un nuevo láser de Nd:YAG para limpieza de superficies con ancho de pulso variable en dos regímenes. El equipo alcanza una eficiencia del 2.6% com-

parable a equipos similares, habiéndose desarrollado a un costo muy inferior.

El empleo de un emisor láser compacto permite el uso como dispositivo portátil, mientras que la regulación de ancho de pulso permite una mayor versatilidad al remover diferentes espesores y tipos de contaminante.

Agradecimientos

Este trabajo fue apoyado por el Fondo Mixto CONACYT-Gobierno del Estado de Tamaulipas.

Referencias

1. Asmus J. F., Int. Science Review, V12, 171-210, (1987).
2. Watkins K. G., Proc. NATO ASI laser processing: Surface and Film Deposition, Sesimbra, Portugal, July 3-16, (1994).
3. Kochan, A., Industrial Robot, V28, 2, 112-13, (2001).
4. Lu Y. F., Song W. D., Lukyanchuk B. S., Hong M. H., Zheng W.Y., Laser-Solid Interactions for Materials Processing, Symposium, Warrendale, PA, USA, pp. J1.4.1-12.. (Materials Research Society Symposium Proceedings Vol.617) (2000).
5. Arronte M, Neves P, Vilar R, Lazaro y L S. Modelling of laser cleaning of metallic particles on silicon substrates. 2003 Conference on Lasers and Electro-Optics Europe (IEEE Cat. No.03TH8666). pp. 561 (CLEO/Europe 2003).