

شناسایی و تحلیل گسیل‌های مولکولی TiO و AlO در دی‌اکسیدتیتانیوم و نمونه‌های آلیاژی آلومینیوم و اینکونل با روش بیناب‌نمایی فروشکست القایی لیزری

مرضیه همتی فارسانی^۱، سید جبار موسوی^۲، سید محمدرضا دربانی^۱، عبدالمجید^۱، محمود سلطان‌الکتابی^۲

^۱ پژوهشکده علوم و فناوری اپتیک و لیزر، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، اصفهان

^۲ گروه پژوهشی اپتیک کوانتومی، گروه فیزیک، دانشگاه اصفهان، اصفهان

چکیده- گذارهای مولکولی TiO در پلاسمای آلیاژهای اینکونل و آلومینیوم و همچنین دی‌اکسیدتیتانیوم با استفاده از روش LIBS شناسایی شدند. وابستگی شدت این گذارها به نوع ماده مورد مطالعه مشاهده شد. باندهای مختلف گسیل مولکولی AlO در پلاسمای آلومینیوم شناسایی و مکانیسم‌های شکل‌گیری این ترکیب مولکولی ارائه گردید. تأثیر تغییر انرژی لیزر بر شدت گسیل‌های مولکولی TiO و خطوط اتمی Ti در پلاسمای اینکونل بررسی شد. افزایش شدت گسیل‌های مولکولی TiO در اثر افزایش شدت خطوط اتمی Ti مشاهده شد.

کلید واژه- آلومینیوم، اینکونل، دی‌اکسیدتیتانیوم، گسیل‌های مولکولی TiO و AlO ، LIBS

Identification and analysis of molecular emissions of TiO and AlO in Al and In alloys and TiO_2 by LIBS technique

M. Hemati Farsani¹, S. J. Mousavi², S. M. R. Darbani¹, A. Eslami Majd¹, M. Soltanolkotabi²

¹ Optics & Laser Science and Technology Research Center, Malek Ashtar University of Technology, Isfahan

² Quantum Optics Research Group, Department of Physics, University of Isfahan, Isfahan

Abstract- Molecular transitions of TiO in plasma of Al and In alloys as well as TiO_2 have been identified by LIBS technique. Intensity dependence of these transitions to type of material has been observed. Different bands of AlO molecular emission in Al plasma have been identified and formation mechanisms of this molecular species has been represented. The effect of laser energy variation on TiO molecular emissions and Ti atomic lines intensity in plasma of In has been investigated. Increasing intensity of TiO molecular emissions subsequent increasing intensity of Ti atomic lines intensity have been observed.

Keywords: Aluminum, Inconel, LIBS, Molecular emissions of TiO and AlO , Titanium dioxide.

¹Laser Induced Breakdown Spectroscopy

۱- مقدمه

قابلیت بیناب‌نگاری در ناحیه طول‌موجی ۱۸۰ تا ۱۱۵۷ نانومتر را دارا بود، جهت ثبت تابش نشری پلاسما استفاده شد. از یک مدار تأخیرانداز الکترونیکی با قابلیت اعمال تأخیر تا حدود ۵ میکروثانیه جهت دریافت گسیل‌های مولکولی با بیشینه شدت استفاده شد.

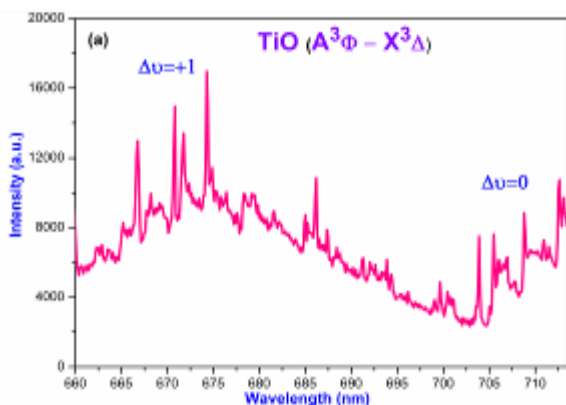
جدول ۱: درصدوزنی عناصر تشکیل‌دهنده اینکونل ۷۱۸ و آلومینیوم ۶۰۶۱

نام عنصر	درصدوزنی در اینکونل ۷۱۸	درصدوزنی در آلومینیوم ۶۰۶۱
Ni	۵۰-۵۵	-
Fe	۱۷	-
Cr	۱۷-۲۱	۰/۰۴-۰/۳۵
Ti	۰/۶۵-۱/۱۵	۰/۱۵
Al	۰/۲-۰/۸	۹۵/۸-۹۸/۶
Nb	۴/۷۵-۵/۵	-
Mb	۲/۸-۳/۳	-
Si	-	۰/۴-۰/۸
Mn	-	۰/۱۵
Mg	-	۰/۸-۱/۲
Cu	-	۰/۱۵-۰/۴

۳- بحث و تحلیل

۳-۱- شناسایی باندهای مولکولی TiO

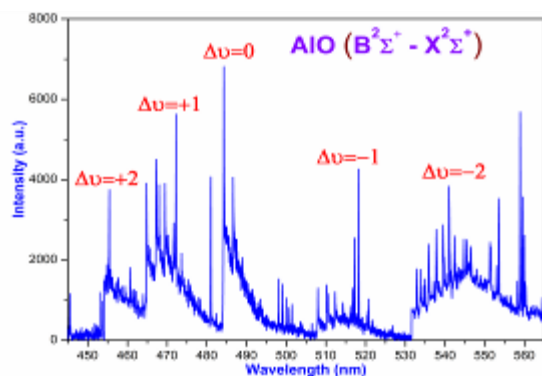
باندهای گسیلی $\text{TiO}(\gamma)(A^3\Phi \rightarrow X^3\Delta)$ و $\text{TiO}(\gamma)(B^3\Pi \rightarrow X^3\Delta)$ مربوط به گسیل‌های مولکولی مختلف TiO آلیاژ اینکونل ۷۱۸ بترتیب در شکل‌های ۱.a و ۱.b نشان داده شده است.



۲- مواد و چیدمان آزمایش

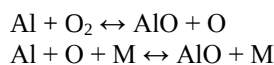
دی‌اکسید تیتانیوم بکاررفته در این پژوهش ساخت شرکت AR و با خلوص ۹۹٪ بوده که بصورت قرص مورد آنالیز قرارگرفت. نمونه‌های آلیاژی اینکونل ۷۱۸ و آلومینیوم ۶۰۶۱ از شرکت ASM تهیه شد. عناصر اصلی و جزئی تشکیل‌دهنده این آلیاژها همراه با درصدوزنی در جدول ۱ نشان داده شده است [۷]. لیزر Q-سوئیچ Nd:YAG با طول موج ۱۰۶۴nm، انرژی ۱۰۰mJ و پهنای 7 ± 2 ns جهت تولید پلاسما استفاده شد. از بیناب‌سنج مدل 20-01-13-A ساخت شرکت Avantes که

درصد خلوص ۹۹٪ دی‌اکسیدتیتانیوم و بواسطه آن بالا بودن مقدار غلظت تیتانیوم موجود در آن و همچنین اختلاف درصدوزنی عنصر تیتانیوم (۱/۱۵-۰/۶۵) در اینکونل و ۰/۱۵ در آلومینیوم)، روند کاهشی شدت گسیل‌های مولکولی متناظر را توجیه می‌نماید. با توجه به انجام آزمایش در شرایط اتمسفری آزمایشگاه بازترکیب اتم‌های تیتانیوم برانگیخته‌شده از پلاسمای نمونه‌های مورد مطالعه با اکسیژن ناشی از پلاسمای هوا تشکیل مولکول‌های TiO را ممکن می‌سازد. بیناب گسیل مولکولی ($B^2\Sigma^+ \rightarrow X^2\Sigma^+$) در AIO در آلیاژ آلومینیوم ۶۰۶۱ متناظر با پنج باند ارتعاشی از $\Delta v=+2$ تا $\Delta v=-2$ در محدوده بینابی ۴۵۰-۵۶۰ nm در شکل ۳ نشان داده شده است. عدم وجود آلومینیوم در نمونه دی‌اکسیدتیتانیوم و همچنین زیاد بودن خطوط اتمی در بیناب گسیلی اینکونل ۷۱۸ دلیل عدم مقایسه بین شدت‌های گسیلی AIO در این ناحیه بینابی است.

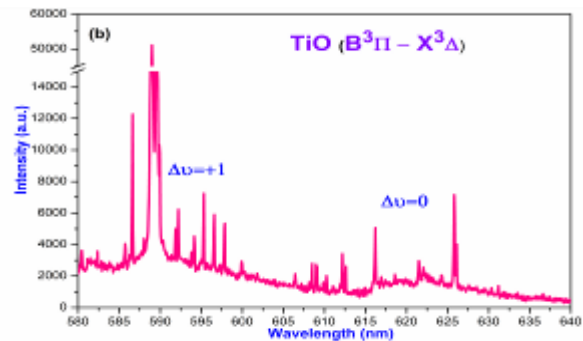


شکل ۳: باندهای ارتعاشی گسیل مولکولی AIO در آلیاژ آلومینیوم ۶۰۶۱

شکل‌گیری گونه‌های مولکولی AIO در فرآیند بازترکیب اتم‌های آلومینیوم جداشده از سطح نمونه با اتم‌ها و یا مولکول‌های اکسیژن عمدتاً از طریق برهمکنش‌های زیر صورت می‌پذیرد [۹].



اتم‌های اکسیژن شرکت‌کننده در فرآیند بازترکیب با اتم‌های آلومینیوم را علاوه بر اتم‌های اکسیژن ناشی از پلاسمای هوا به اتم‌های اکسیژن برانگیخته‌شده موجود در سطح نمونه به علت اکسیدشدن سطح نیز می‌توان نسبت داد [۱۰].

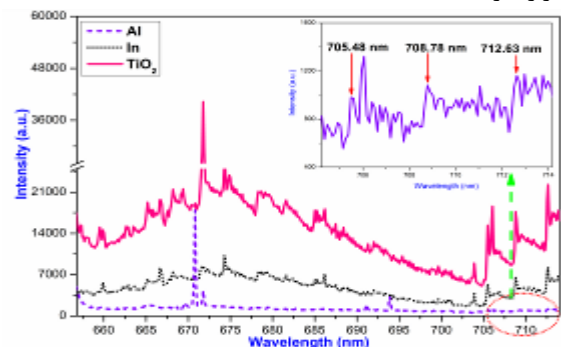


شکل ۴: گسیل‌های مولکولی آلیاژ اینکونل ۷۱۸ - a: TiO γ و b: TiO γ'

باندهای ارتعاشی $\Delta v=+1$ و $\Delta v=0$ در نواحی بینابی ۶۶۰-۶۸۰ nm و ۷۰۵-۷۱۵ nm مربوط به $\text{TiO } \gamma$ و $\Delta v=+1$ و $\Delta v=0$ در نواحی ۵۸۰-۶۰۰ nm و ۶۱۵-۶۴۰ nm مربوط به $\text{TiO } \gamma'$ است [۳]. با افزایش $|\Delta v|$ کاهش شدت باندهای ارتعاشی انتظار می‌رود [۴]، اما بدلیل تنوع و گستردگی خطوط اتمی مربوط به عناصر تشکیل‌دهنده اینکونل ۷۱۸ از جمله ظاهرشدن خطوط اتمی تیتانیوم با طول موج‌های ۵۸۶/۶۴ nm، ۵۹۵/۳۱ nm و ۶۷۴/۵۵ nm خطوط اتمی سدیم با طول موج‌های ۵۸۸/۹۹ nm و ۵۸۹/۵۵ nm در نواحی بینابی ۶۶۰-۶۸۰ nm (باند $\Delta v=+1$) و ۵۸۰-۶۰۰ nm (باند $\Delta v=+1$ $\text{TiO } \gamma'$) انتظار فوق برآورده نشد [۸].

۳-۲- گسیل‌های مولکولی $\text{TiO } \gamma$ و AIO در نمونه‌های مختلف

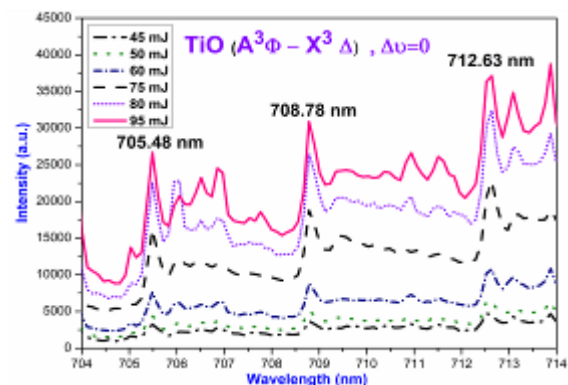
بیناب نمونه‌های دی‌اکسیدتیتانیوم، آلیاژ آلومینیوم ۶۰۶۱ و اینکونل ۷۱۸ در محدوده بینابی ۶۶۰-۷۱۵ nm به‌منظور بررسی تأثیر نوع ماده بر شدت گسیل‌های مولکولی $\text{TiO } \gamma$ ، در شکل ۲ نشان داده شده است. شدت بیناب گسیل مولکولی برای دی‌اکسیدتیتانیوم بیشینه و برای آلیاژهای اینکونل ۷۱۸ و آلومینیوم ۶۰۶۱ در مراتب بعدی قرار دارد.



شکل ۵: گسیل‌های مولکولی $\text{TiO } \gamma$ در نمونه‌های مختلف

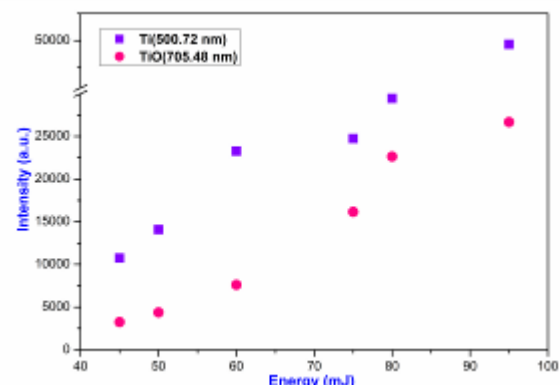
۳-۳- بررسی تأثیر انرژی لیزر بر شدت خطوط اتمی و گسیل‌های مولکولی

تغییرات شدت بینایی باند ارتعاشی $\Delta v=0$ گسیل مولکولی γ TiO در نمونه اینکونل ۷۱۸ در بازه‌های مختلف انرژی در شکل ۴ دیده می‌شود. با افزایش شدت لیزر میزان کندگی لیزری نمونه بیشتر شده و بواسطه آن میزان عناصر ترکیبات آلیاژی از جمله تیتانیوم در پلاسمای حاصل نیز افزایش پیدا کرده که در اثر آن فرایندهای بازترکیبی و شدت گسیل‌های مولکولی افزایش می‌یابد.



شکل ۴: تغییرات شدت گسیل مولکولی γ TiO برحسب انرژی‌های مختلف در آلیاژ اینکونل ۷۱۸

وابستگی مستقیم شدت خط اتمی $500.72/705.48$ nm تیتانیوم و گذار مولکولی (۲،۲) در طول موج 705.48 nm به انرژی لیزر در شکل ۵ ترسیم شده است. از طرفی روند افزایشی شدت گسیل‌های مولکولی با افزایش شدت خطوط اتمی در شکل ۵ مشاهده می‌شود.



شکل ۵: وابستگی شدت خط اتمی تیتانیوم و گسیل‌های مولکولی

۴- نتیجه‌گیری

باند‌های مختلف گسیل‌های مولکولی TiO در نمونه‌های آلیاژی اینکونل ۷۱۸، آلومینیوم ۶۰۶۱ و همچنین

دی‌اکسیدتیتانیوم با استفاده از روش LIBS آشکارسازی شدند. گسیل‌های مولکولی AlO در تابش پلاسمای آلیاژ آلومینیوم ۶۰۶۱ مشاهده و مکانیسم شکل‌گیری آنها ارائه گردید. وابستگی شدت گسیل‌های مولکولی γ TiO به نوع ماده مورد مطالعه و انرژی لیزر و همچنین افزایش شدت گسیل‌های مولکولی TiO در اثر افزایش شدت خطوط اتمی Ti که نشان‌دهنده بیشتر شدن تعداد اتم‌های تیتانیوم موجود در فرآیند بازترکیب با اتم‌های اکسیژن هوا و در نتیجه افزایش گونه‌های مولکولی TiO و شدت‌های مربوطه است، دیده شد.

سپاسگزاری

از پرسنل پژوهشکده علوم و فناوری اپتیک و لیزر دانشگاه صنعتی مالک اشتر که ما را در انجام این پژوهش یاری نموده‌اند، سپاسگزاری می‌شود.

مراجع

- [1] Miziolek A W., Palleschi V., Schechter I., *Laser Induced Breakdown Spectroscopy*, Cambridge University Press, New York, 2006.
- [2] Parigger C G., *Atomic and molecular emissions in laser-induced breakdown spectroscopy*, **Spectrochim Acta. B.** 79-80 (2013) 4-16.
- [3] Woods A C., Parigger C G., Keszler A., Nemes L., Hornkohl J O., *Analysis of TiO Spectral Transitions in Laser-induced and Radio-frequency Thermal Plasmas*, **IRAMP.** 3 (2012) 51-59.
- [4] Woods A C., Parigger C G., Hornkohl G.O., *Measurement and analysis of titanium monoxide spectra in laser-induced plasma*, **Opt. Lett.** 37 (2012) 5139-5141.
- [5] Chaudhari M M., Londeh C T., Behere S H., *Determination of rotational temperature of AlO from the $B^2\Sigma^+-X^2\Sigma^+$ system*, **PRAMANA. J. Phys.** 66 (2006) 596-600.
- [6] Noll R., Sturm V., Aydin Ü., Eilers D., Gehlen C., Höhne M., Lamott A., Makowe J., Vrenegor J., *Laser-induced breakdown spectroscopy-From research to industry, new frontiers for process control*, **Spectrochim Acta. B.** 63 (2008) 1159-1166.
- [7] ASM Aerospace Specification Metals, <http://asm.matweb.com/>
- [8] Ahmad K., Tawfik W., Farooq W A., Singh J. P., *Analysis of alumina-based titanium carbide composites by laser-induced breakdown spectroscopy*, **Appl. Phys. A.** 014 (2014) 8544-8547.
- [9] Yuasa S., Zhu Y., Sogo S., *Ignition and combustion of aluminum in oxygen/nitrogen mixture streams*, **Combust. Flame.** 108 (1997) 387-390.
- [10] Cremers D A., Radziemski L J., *Handbook of Laser-Induced Breakdown Spectroscopy*, John Wiley & Sons, 2006.