

معالجة المياه وتنقيتها بتكنولوجيا البلازما

أحمد رضا جلالى، عاطف بن حسين أصغر
معهد خادم الحرمين الشريفين لأبحاث الحج والعمرة - جامعة أم القرى

ملخص البحث:

تكنولوجيا معالجة المياه باستخدام البلازما الحرارية تعد من أحدث وأسرع التقنيات الحديثة، بالإضافة إلى معالجة مياه النفايات الصناعية وتحويلها إلى مياه قابلة للشرب من الدرجة الأولى أو حتى مياه صالحة لبعض الصناعات من الدرجة الثانية. طريقة المعالجة بالبلازما هي أيضاً قادرة على التخلص من جميع المواد السامة والعناصر الثقيلة في المياه بما في ذلك المعادن الثقيلة، كاليود والبروم وغيرها من المواد، وهذه التكنولوجيا تزيل جميع المواد الغير مرغوب فيها في المياه باستخدام تقنية البلازما لمعالجة المياه ونظام التنقية، يتم فتح حل مناسب من قبل الصناعات السعودية للتغلب على التحديات والقيود في عمليات تنقية المياه والصرف الصحي ومياه النهر ومياه الآبار وفتح سوق جديدة للصناعات السعودية الحديثة الصغيرة المعتمدة على معالجة المياه العادمة وتنقيتها. ونظراً لمواصفات وجودة المياه المنتجة بواسطة معالج البلازما من حيث النقاء والخلو من الشوائب بشكل كبير جداً وعالي بنسبة ١٠٠%، ولذا فهذه التكنولوجيا لا يوجد لديها منافس في تنقية المياه وسوق صناعة المعالجة وأنها أقل عرضة للاستبدال مع أي من التكنولوجيات الناشئة على الأقل في المستقبل القريب.

هذا البحث سوف نستخدم القدرة الكهربائية الهائلة الصادرة من مدفع البلازما الذى يعمل عند ١٠٠KW (٥٠٠ V - ٢٥٠ A) وتتراوح درجات الحرارة المتولدة من المدفع من ٣٠٠٠ °C إلى ٥٥٠٠ °C وأقصى غاز مستهلك ٢٥ g/sec وذلك لتحليل صبغه صعبة التفكك والتحلل تحت الظروف الطبيعيه و تسمى البيزين أوكتان المشبع $C_{16}H_{11}N_2NaO_4S$ المعروف بالصبغه البرتقالية اللون وأظهرت التحاليل التي أجريت انخفاض بشكل حاد لإجمالى كميات الكربون الكلي (TC)، الكربون العضوي الكلي (TOC)، والكربون غير العضوي (TIC) كما أظهرت التحاليل القضاء البكتريا القابلة للحياة بشكل نهائى مثل الأوكولاى و ستافيلوكوكس أوروس

المقدمة:

في السنوات ال ٥٠ الماضية، أصبح التلوث البيئي مشكلة عالمية بسبب زيادة كبيرة في كمية النفايات. حيث يتم إنتاج كمية ضخمة من التلوث الناجم عن العمليات الصناعية ومن أسوأ هذه الملوثات البيئية: النفايات السائلة كميها الصرف الصحي بما لها من تأثيرات صحية على البشر و النبات والثروة السمكية بشكل لا يمكن التنبؤ بمخاطرها [١-٢] فوجود كمية كبيرة من الملوثات العضوية في محلول مائي تسبب العديد من الصعوبات في بعض الصناعات مثل صناعة الورق وصناعة الألمنيوم، وبالتالي، أصبحت السوائل المستخدمة في الصناعات وحل مشكلاتها قضية مهمة جدا. وقد تم القيام بالكثير من الجهود لإيجاد طرق فعالة وصديقة للبيئة لمعالجة الكميات الكبيرة من السوائل الملوثة. [٣-٤] وفي السنوات الأخيرة كثير من المعالجات المختلفة للمياه الملوثة يستخدم بها أنواع مختلفة من المعالجات الكهربائية في السنوات الأخيرة. تقدم هذه الورقة دراسة قدرة معالج البلازما على تحلل الصبغات العضوية من الماء ويتم هذا باستخدام مدفع البلازما ذي الطاقة العالية، و في هذا النوع من المعالجات يتم الاتصال المباشر مع البلازما المتوهجة الصادرة من مدفع البلازما ودرجات حرارة البلازما

العالية جداً ذي الكثافة الكبيره من الأشعة فوق البنفسجية القصيرة الموجة.التي يكون لها التأثير الفعال في تحليل كامل لأقوى الصبغات وكذلك للقضاء على البكتريا المختلطة بالمياه [6-5]

طريقة العمل والجهاز المستخدم:

معالج تنقية المياه بالبلازما الساخنة وهو جهاز يتكون من عدة أجزاء رئيسية كما في الشكل (١) :-

٣. مصدر الغاز سواء كان هواء أو مخلوط من الأرجون والأكسجين بنسب يتم التحكم بها.
٤. مدفع البلازما وهو المكون الرئيس في المعالج
٥. موضع تفاعل البلازما مع المياه وهو يسمى بمعالج البلازما.
٦. خزان المياه وسعته ٦٠ لتر ويتم علاجها في خلال ١٠٠ ثانية ويتم سحبها كميته نقيه ثم يتم ملأ الخزان كل دقيقه ٦٠ لتر أخرى من المياه الملوثة التي تحتوى على محلول صبغه وكذلك على بعض البكتريا القابله للحياة كالباسيلس والأكولاي.
٧. مصادر المد بالمياه الغير معالجة.
٨. مركز تحليل المياه بعد تنقيتها وتعقيمها بالبلازما حيث يتم تكثيفها وتبريدها المفاجئ.
٩. مركز تنقية المياه المعالجة بالبلازما بنسبة نقاء ١٠٠%.

١-٢ مراكز تحليل عينات المياه [٧-٨]:

هناك خمسة مواضع لتحليل المياه كما في الشكل وهي

- ت. العينه الأولى sample A وفيها عينة المياه الغير نقيه وهي تحتوى على صبغه وبكتريا تم حقن المياه بها قبل دخولها الى معالج البلازما وهي خاصه بتبريد جسم مدفع البلازما حيث يتم معالجتها وتتحول إلى العينة الثانية المعالجة sample AA
- ث. العينة الثالثة sample B وفيها عينة المياه الغير نقيه أيضاً (وهي نفس العينة الأولى sample A) قبل دخولها الى خزان المياه حتى يملأ ٦٠ لتر ثم يغلق هذا المصدر بعد اكتمال ملء الخزان ، ويتم التعامل مع هذه العينة من المياه داخل الخزان مع مشاعل البلازما الساخنة الصادرة من مدفع البلازما الى داخل الخزان حيث يتم معالجتها وتتحول الى العينة الرابعة التي تم علاجها الى sample BB
- ج. كلتا العينتين يتم إعادة ادخالهم مرة أخرى الى المعالج بنفس المسار ليعاد تنقيتهم عدة مرات مع غلق المصدر الرئيس للمياه على أساس تنقيه ٦٠ لترًا كل دقيقه.
- ح. العينة الخامسة وهي العينة المفروض أن نسبة نقائها ١٠٠% وهي تكون صالحة للشرب.

والرسم التالي شكل (٢) هو رسم توضيحي يبين كل المراحل السابقة للحصول على مياه نقيه

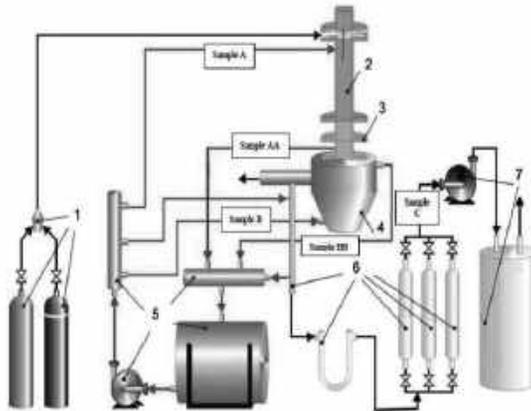


Fig.1 Plasma unit for liquid wastes processing

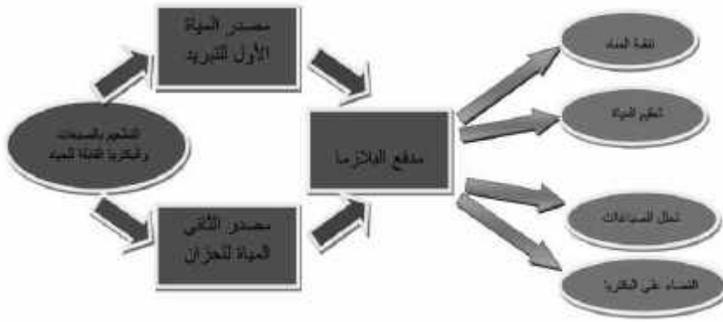


Fig.2 Water treatment and purification by plasma technology

٢-٢ مدفع البلازما [٩-١٠]:

كما هو مبين الشكل (٣) (أ، ب) المكون الرئيس لمعالج البلازما، وهو مدفع البلازما ويشمل مشاعل البلازما التي يتم بناؤها على أساس مبدأ تصميم موحد وتشمل مجموعة واسعة من المعايير الفنية. وهي كالتالي كما يوضحه الشكل (٣) (ج) الذي يعمل على التيار المتردد أو المباشر جنباً إلى جنب.

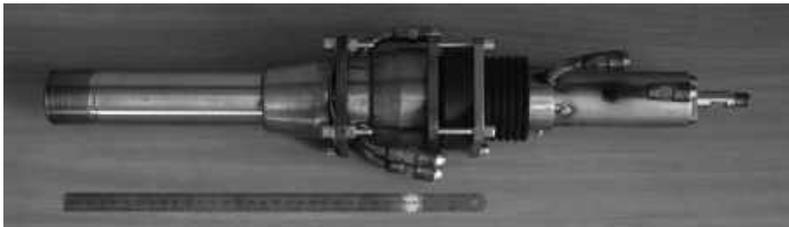
وتعتمد تقنية تشغيل مدفع البلازما على الكهرباء المتولدة بين المصعد والمهبط التي تتحول إلى طاقة حرارية ويساعد على اشتعالها دخول الغاز، ويمكن التحكم في حدة ووطأة درجات الحرارة العالية (نتيجة البلازما الساخنة المتولدة بمدفع البلازما) منظومة التبريد التي حول المدفع وكذلك اندفاع الغاز إلى داخل المدفع ليساعد على اندفاع شعلة البلازما المتولدة إلى خارج المدفع.

وتقدر أقصى قدرة المدفع الخارجة ١٠٠ KW وأقصى جهد مطبق ٥٠٠ V وأقصى تيار مستخدم ٢٥٠ A وتتراوح درجات الحرارة المتولدة من المدفع من ٣٠٠٠ °C إلى ٥٥٠٠ °C وأقصى غاز مستهلك ٢٥ g/sec الطول الموجي المستخدم في هذه التجربة يمكن أن يوضح بمعادلة وقانون وين للأبعاد الخاصه للجسم الأسود المتوهج بالحرارة وهو يعتمد على أقصى كثافة الأشعة الصادرة من الجسم الأسود كالتالي:

(1)

$$\lambda_{\max} = d/T$$

حيث d هو ثابت الأبعاد لوين ويقدر $2,90 \times 10^{-3} \text{ m K}$ حيث قدر الطول الموجي ما بين ١٥٣nm إلى ٢٤٢nm حيث تتراوح درجة الحرارة ما بين ١٩٠٠K إلى ١٠٠٠K وبذلك يتحقق فوتونات قوية ذات طاقة عالية في منطقه الأشعة فوق البنفسجية وذلك في حالة قدرة لمدفع البلازما التي تبلغ ١٠٠KW كما ذكر من قبل.



(a)



(b)

Fig.3 (a,b) The PTP plasma torch series (non-transferred arc)

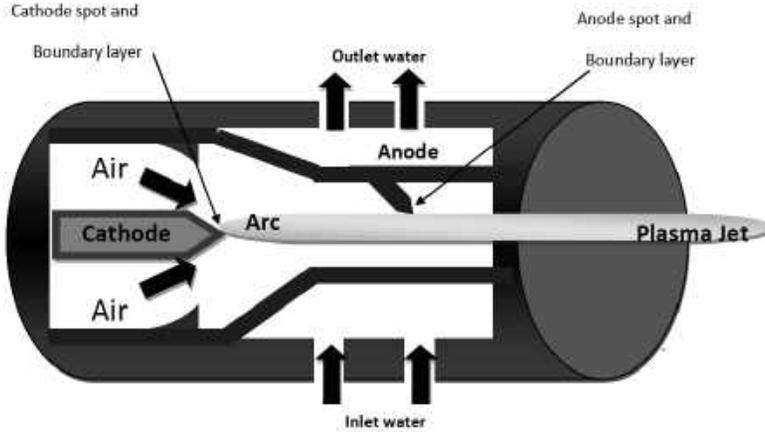
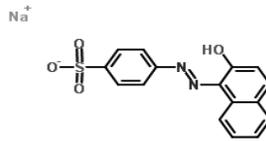


Fig.3(c) The PTP plasma torch series (non-transferred arc)

٣-٢ الملوثات الموجودة بالمياه [١٢-١١]:

يتم تطعيم المياه الملوثة بنوعين من الملوثات:- صبغه صعبة التفكك والتحلل تحت الظروف الطبيعية وكذلك بكتريا القابلة للحياة مثل الأكلواي و ستافيلوكوكس أوريوس

والصبغة المستخدمة من نوع الأصباغ النيتروجينية و تسمى البنزين أوكتان المشيع المعروف بالصبغه البرتقالية اللون ولها الرمزالكيميائي $C_{17}H_{11}N_7NaO_5S$ ولها التركيب الكيمياء العضوية التالي :



وكثيرًا ما تستخدم هذه الأصباغ النيتروجينية لتكون نموذجًا للتحلل كما في هذا البحث الذي سوف يتناول البنزين أوكتان المشيع حيث يستخدم منه عينتان بنفس التركيز:-

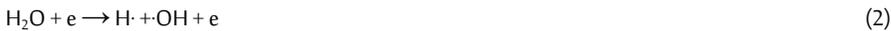
- العينة الأولى sample A التي يتم حقنها في المياه المخصصة لتبريد المعالج من خلال مضخة حول المعالج
- العينة الثانية sample B التي يتم حقنها في المياه المخصصة بملأ خزان المياه المعرضة لشعلة البلازما المباشر من خلال مدفع البلازما

ويتم قياس التغيرات في تركيز الصبغة عن طريق تحليل الطيف البنفسجي والفوق بنفسجي بواسطة جهاز التحليل الطيفي (Varian Cary ٥٠ UV-Vis spectrometer) أما قياس نسبة النقص الحاد في الصبغة في العينات من المحلول المائي من حيث من إجمالي الكربون (TC)، إجمالي الكربون العضوي الكلي(TOC) ، ومجموع قياسات الكربون غير العضوية (TIC) من خلال جهاز محلل (TOC ٥٠.٥٠A) .

Shimadzu analyzer مع العلم بأن كمية الصبغة البرتقالية المضافة الى كمية المياه الموجودة في الخزان هي ١,٤ gm وهي تعادل تركيزه المحلول مقداره 10^{-4} mol/L مع العلم بأن قدرة شعلة البلازما عند (١٠٠ kW, ٢٥٠ V, ٤٠٠ A).

النتائج :

شكل (٤) يمثل قياس التغيرات في تركيز الصبغة عن طريق تحليل الطيف البنفسجي والفوق بنفسجي بواسطة جهاز التحليل الطيفي وذلك في خلال أزمته مختلفة للتجربة وهي ٢٠-٤٠-٦٠-٨٠-١٠٠ ثانية أما الشكل (٥) يمثل قياس مدى النقص الحاد في كمية الصبغة في العينات الأولى والثانية sample AA - sample BB من المحلول المائي الذي يحتوى على الصبغة ويلاحظ من المنحنيات التحلل السريع الملحوظ للصبغة في كلتا الحالتين. ويمكن تفسيره بأن الأشعة فوق البنفسجية الكثيفة جداً التي تبعث من شعلة البلازما المتولدة من المدفع بسبب ارتفاع درجة الحرارة و بسبب الإثارة والتأين لجزيئات الماء عن طريق الإلكترونات النشطة كما توضح المعادلات التالية [١٤-١٣]:



وعملية تحلل الصبغة من المياه الملوثة يكون تحت تأثير جميع هذه العمليات السابقة مجتمعة، وهذا يتضح من خلال الشكل (٥) الذي يوضح المقارنة بين تركيز الصبغة في مباشر للحرارة من قبل شعلة مدفع البلازما sample BB والثانية للتعرض الغير مباشر لحرارة معالج البلازما sample AA أى في الحالة الأولى تتم عمليات منها التعرض الحرارى الشديد المباشر بالإضافة لعمليات التأين والأكسدة. أما العينة الثانية فتتعرض لعملية التعرض الغير مباشر لشعلة البلازما من خلال عمليات التبريد و البخار ، وفي كلتا الحالتين يتضح مدى الانهيار الكبير في حالة التعرض المباشر للحرارة الشديدة من خلال التعرض لشعلة البلازما .

وأظهرت التحاليل التي أجريت على إجمالى كميات الكربون الكلي (TC)، الكربون العضوي الكلي (TOC)، و الكربون غير العضوية (TIC) كما في الجدول (١) ف لوحظ انخفاض سريع في كمية الكربون بالجرام لكل لتر في الحالات الثلاث بنسب متفاوتة مع الأخذ في الاعتبار أن الوزن الجزيئي لصبغة البيزين أوكتان المشبع هي ٣٥٠ g/mol .

أما الشكل (٦) فيظهر التحاليل التي يوضح مدى القضاء على البكتريا القابلة للحياة التي تم تطعيم المياه الملوثة بهما وهما الأكلواي وهو من النوع (gram-negative bacterium) والنوع الأخر ستافيلوكوكس أوريوس [١٥]. (gram-positive bacterium) وكان تركيز الخلايا القابله للحياة من البكتريا في المياه الملوثة هي ١٠٧ cell/ml كما يوضح الشكل (٦a) أما الأشكال (٦ b-c-d-e) يمثلن أشكال البكتريا بعد التعرض للبلازما بعد ٢٠-٤٠-٦٠-١٠٠ ثانية.

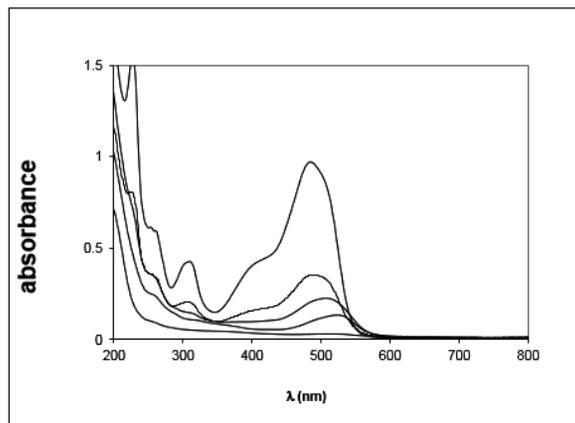


Fig. 4 Absorbance spectra of the dye after 0, 20, 40, 60, 100 sec

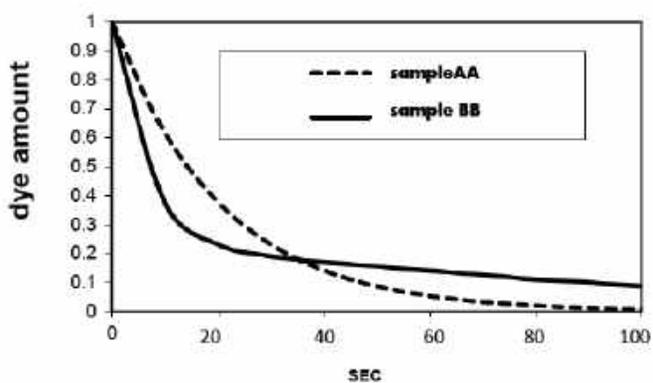
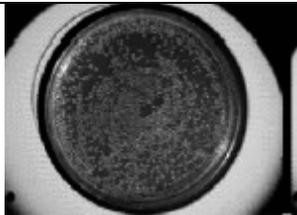
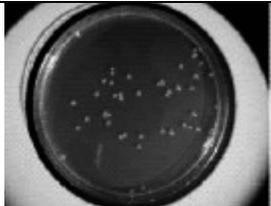


Fig.5 decrease amount in dye concentration during measurement

For samples AA and BB

Degradation time (sec)	TC (mg·l ⁻¹)	TOC (mg·l ⁻¹)	TIC (mg·l ⁻¹)
0	19,37	9,31	10,06
30	12.03	2.5	8.02
90	4.1	0.8	3.1

Table 1. Total carbon (TC), total organic carbon (TOC), and total inorganic carbon (TIC).

Time (sec)	E.Coli Sample
0	
20	
40	

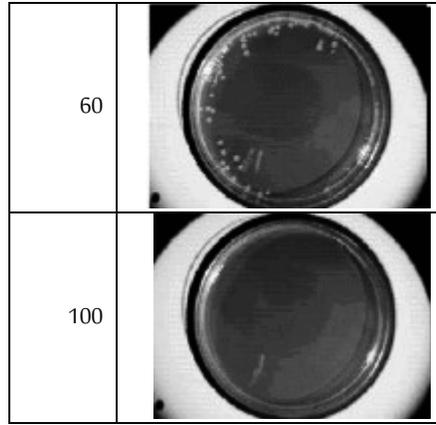


Fig.6 Culture of E. coli after plasma treatment. The concentration of E. coli and discharge time were varied.

الخلاصة:

الكهرباء المتحولة الى طاقه حراريه شديده من خلال البلازما الساخنة الصادرة من شعلة البلازما الخارجة من مدفع البلازما تعد من أهم عوامل انهيار وتحلل أى صبغه بجانب بعض عمليات التأين والأكسدة التي تحدث للصبغه الذائبه في الماء الملوثة وانهيار وتحلل الصباغات السامة يزداد بمرور الوقت وكذلك بزيادة الطاقة الحرارية الصادرة من شعلة البلازما. والتعرض المباشر لمدفع البلازما يؤدي الى أعطاء نتائج أفضل من التعرض الغير مباشر تصل الى التحلل للصبغات بنسبة ١٠٠٪ حيث مع تدفق المياه ومع التحكم في ارتفاع معدل تدفقها حول شعلة البلازما ونتيجة لذلك فإن جميع المياه التي تتدفق من خلال الشعلة تتعرض لمستوى عالٍ جداً من الأشعة فوق البنفسجية. هذا بالإضافة إلى تحلل المركبات العضوية في المياه الملوثة و تعطيل البكتريا القابلة للحياة بشكل نهائي خلال فترة تطبيق قصيرة جدا للبلازما تصل الى ١٠٠ ثانية، وكان المستهدف هو تعطيل ميكروبين مختلفين هما الأكلوي و ستافيلوكوكس أوريوس.

المراجع:

- ١- M. Hrabovsky, V. Kopecky, V. Sember, T. Kavka, O. Chumak and M. Konrad, Properties of hybrid water/gas DC arc plasma torch, IEEE Trans. on Plasma Science 34 (2006) 1566.
- ٢- H. Gerdien and A. Lotz, On a Light Source of Very High Intensity, Z. Tech. Phys. 4 (1923) 157
- ٣- J. Jenista, M. Bartlova and V. Aubrecht, Czech. J. Phys., Performance of water and hybrid stabilized electric arcs: the impact of dependence of radiation losses and plasma density on pressure, vol. 56 (Suppl. B) (2006) B1224.
- ٤- V. Aubrecht and M. Bartlova, Radiation absorption coefficients in arc plasmas, Czech. J. Phys., vol. 54 (2004) 759.
- ٥- **Y. S. Mok**, J. O. Jo and C. **Woo**, Gaseous Electrical Discharge-Induced Degradation of Organic Compound in Wastewater: UV Irradiation and Ozonation Effect, J. Adv. Oxidation Technol. 10 (2007) 439.
- ٦- M. **Sato**, D. Kon-no, T. **Ohshima** and A. T. **Sugiarto**, Decoloration of Organic Dye in Water by Pulsed Discharge Plasma Generated Simultaneously in Gas and Liquid Media, J. Adv. Oxidation Technol. 8 (2005) 198.
- ٧- D. **Moussa**, A. **Doubla**, G. Karagang-Youbi and J. L. **Brisset**, Postdischarge long life reactive intermediates involved in the plasma chemical degradation of an azoic dye, IEEE Trans. On Plasma Sci. 35 (2007) 444.
- ٨- W. J. Bian, M. H. Zhou and L. Ch. Lei, Formations of active species and by-products in water by pulsed high-voltage discharge, Plasma Chem. Plasma Proc. 27 (2007) 337.
- ٩- B. R. Locke, M. Sato, P. Sunka, M. R. Hoffmann, J.-S. Chang. *Ind. Eng. Chem. Res.* 45, 882(2006).
- ١٠- E. C. Jameson. *Electrical Discharge Machining*, Society of Manufacturing, Michigan (2001).
- ١١- N. Sano, H. Wang, I. Alexandrou, M. Chowalla, K. B. K. Teo, K. Iinuma. *J. Appl. Phys.* 92, 2783(2002).
- ١٢- D. Bera, S. C. Kuiry, M. McCutchen, A. Kruize, H. Heinrich, M. Mayyappan, S. Seal. *Chem. Phys. Lett.* 386, 364 (2004).
- ١٣- D. Bera, E. Brinley, S. C. Kuiry, M. McCutchen, S. Seal, H. Heinrich, B. Kabes. *Rev. Sci. Instrum.* 76, 33903 (2005).
- ١٤- S. Nomura, H. Toyata, S. Mukasa, H. Yamashita, T. Maehara, M. Kuramoto. *Appl. Phys. Lett.* 88,211503 (2006).
- ١٥- K. Imasaka, Y. Kanatake, Y. Ohshiro, J. Suehiro, M. Hara. *Thin Solid Films* 506–507, 250 (2006).