JWPU
Journal of Al-Wataniya Private University

ISSN: 3105-2150

Volume (2) Number (1)
Available at: https://wpu.edu.sy/wpuj/index.php/wpuh/en

Radiography Of The Biological Samples By X-Rays Emitted From Plasma Focus

Dr. Alaa Nassif [1,*], Prof. Dr. Walid Sahyouni [2]

ABSTRACT

In this paper, a review is presented of the possibility of using plasma focus as X-ray sources for imaging biological samples. First, a presentation of the emission mechanisms and basic groups of X-ray sources was presented. The mechanisms of emission of X-rays from plasma were explained in general, and then an explanation of the advantages of plasma focus as X-ray sources and the factors affecting the energy of the emitted x-rays. Finally, a number of examples of imaging operations of some biological samples were presented using plasma focus devices.

KEYWORDS: Plasma Focus, Radiography, Soft X-ray.

Submitted on January 1, 2024; Revised on February 7, 2024; Accepted on February 21, 2024
© 2024 Al-Wataniya Private University, all rights reserved.

1 Faculty of Pharmacy, Al-Wataniya Private University, Hama, Syria.
2 Faculty of Science, Homs University, Homs, Syria.

* Corresponding author. E-mail address: alaa.nassif@wpu.edu.sy

التصوير الشعاعي للعينات البيولوجية بالأشعة السينية الصادرة عن البلازما المحرقية

د. علاء ناصيف، أ. د. وليد صهيوني

الملخص

تمّ في هذا البحث تقديم مراجعة لإمكانية استخدام أجهزة البلازما المحرقية كمنابع أشعة سينية لتصوير العينات البيولوجية. حيث جرى عرض لآليات الإصدار والمجموعات الأساسية لمنابع الأشعة السينية، كما تم شرح آليات إصدار الأشعة السينية من البلازما بشكل عام ومن ثمّ شرح للميزات التي تتمتع بها أجهزة البلازما المحرقية كمنابع للأشعة السينية والعوامل المؤثرة على طاقة الأشعة الصادرة. وأخيراً تم عرض أمثلة لعمليات تصوير بعض العينات البيولوجية باستخدام أجهزة البلازما المحرقية.

الكلمات المفتاحية: البلازما المحرقية، التصوير الشعاعي، الأشعة السينية اللينة.

1. مقدمة

إن للأشعة السينية أهمية كبيرة في مجالات متعددة بدءاً من البحوث الأساسية و حتى التطبيقات المختلفة في تكنولوجيا المواد والطب و الهندسة، حيث تستخدم هذه الأشعة السينية تبعا لطاقتها في تطبيقات متنوعة مثل: الحفر بالأشعة السينية (x-ray lithography)، والتصوير الشعاعي الطبي و التصوير المقطعي العرضي (x-ray tomography) و غيرها [1–4]. و يعد المصدر المولّد للأشعة السينية المكوّن الرئيسي في الأبحاث المرتبطة بالأشعة السينية، وهناك اهتمام واسع حالياً للحصول على طاقات أشعة أعلى ومنابع أكثر كفاءة لمواكبة التطورات في الصناعة. يتم توليد الأشعة السينية عن طريق تسريع الجسيمات المشحونة (عادة الإلكترونات عالية الطاقة)، و انتقال الإلكترون من السوية الطاقية الأيونية أو الذرية إلى سوية أخفض. و يتضمن النوع الأول على الإشعاع السينكروتروني (synchrotron radiation) والكبح (bremsstrahlung) وعادةً يعطي هذا النوع طيف إصدار مستمر و يمكن تصنيف مصادر الأشعة السينية وفق ما يلي: منابع الهدف الصلب (solid target sources)، و الإشعاع السينكروتروني، وليزرات الأشعة السينية، والبلازما (plasma). و لقد انحصر استخدام الأشعة السينية في بداية عهدها في المجالات الطبية، و قد دخل التصوير الإشعاعي الصناعي حيز التطبيق العملي بعد أن اكتشف كوليدج في العام 1913 أنبوبة توليد الأشعة السينية ذات المهبط الساخن، وتمكن بذلك من توليد الأشعة السينية، ذات الشدة الأعلى و القدرة على الاختراق و التي تحقق المتطلبات الصناعية. و في عام 1917 تأسس قسم البحث الإشعاعي في المملكة المتحدة و كان ذلك البداية الحقيقية لتطور التصوير الإشعاعي. وفي عام 1930 جعلت البحرية الأمريكية فحص اللحامات الرئيسة المصهورة في اسطوانات المراجل البخارية بالتصوير الإشعاعي إلزامياً. لقد حدث التوسع الرئيسي للتصوير الإشعاعي أثناء الحرب العالمية الثانية بسبب ازدياد الطلب على لحامات ذات جودة عالية. يستفاد منها في صناعة أجزاء الطائرات و هياكل السفن. ولقد أصبح التصوير الشعاعي أوسع استخداماً بعد أن توصلت الأبحاث النووية إلى النظائر المشعة التي تصدر أشعة غاما و قد لاقت تلك النظائر المشعة رواجاً في تنفيذ اختبارات الفحص بطريقة التصوير الإشعاعي الصناعي [5–7]. تتكون البلازما بشكل عام من الإلكترونات و الأيونات (في حالة التأين الكامل)، حيث تحدث عملية التأين المنتجة للبلازما بسبب رفع درجة حرارة الغاز إلى قيمة عالية جداً، تتراوح ما بين 5´105 – 107 K أو مقدرة بواحدة الإلكترون فولط ما بين50 eV-1 keV . و توجد مثل هذه الدرجات بشكل طبيعي في أجواء النجوم (stellar atmospheres) و يمكن تحقيقها على الأرض في الانفجارات النووية أو في أجهزة التضيق (z-pinch devices) و مفاعلات الاندماج النووي الحراري أي التوكاماكات (tokamaks) و الشرارات (sparks) و في الحزمة الليزرية النبضية المركزة على جسم صلب أو في غاز [1]. و تتراوح أبعاد

البلازما المصدرة للأشعة السينية ما بين 10−100 وهي من نفس أبعاد الحجم النموذجي للتضيقات الميكروية الموضعية (localized micropinchs)، و تعطي مثل هذه البلازما استطاعات إصدار كلية تتراوح ما بين 107−1010 W، و بالتالي فالبلازما المتشكلة في التضيقات يمكن أن تكون مصدرًا شديداً جداً للأشعة السينية. ينتج الطيف المستمر للأشعة السينية بآليات متنوعة، على سبيل المثال: الكبح الحاصل في البلازما، الناتج عن التفاعلات الكولونية بين الإلكترونات والأيونات، و إعادة الاتحاد، الذي ينتج عنه إصدار إشعاع من الطاقة التي فقدها الإلكترون الحر المتحد. أما إذا فقد الإلكترون المرتبط طاقة نتيجة لانتقاله إلى حالة طاقة أيونية أخفض، عندئذ سيصدر إشعاع وحيد مشكلاً خطاً طيفياً مميزاً. تعتمد القوى النسبية للإصدارات المستمرة و الخطية على كيفية تشكل البلازما: فمن أجل بلازما متشكلة عن مادة ذات عدد ذري كبير (high-Z material) يكون الإصدار المستمر (continuum emission) سائداً، بينما من أجل مادة ذات عدد ذري منخفض (low-Z material) يمكن أن يكون الإصدار الخطي (line emission) هو الأقوى [2].

2. البلازما المحرقية الكثيفة منبعاً للأشعة السينية

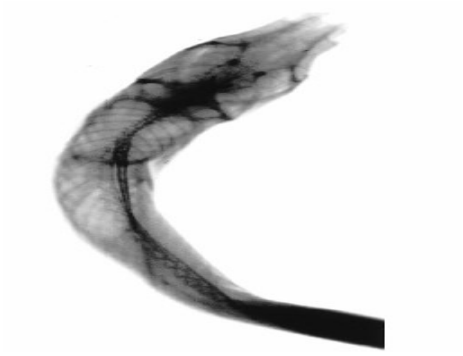
يعتبر جهاز البلازما المحرقية ((Plasma focus device (PFD) من المصادر الواعدة للأشعة السينية اللينة (soft x-ray) مع زمن حياة يمتد حتى مئات من النانو ثانية، و طاقة أعلى من الطاقة الناتجة بواسطة منابع أخرى ممكنة [1, 2]. و لقد تزايد الاهتمام بهذه الأجهزة من أجل البحوث الأساسية في المطيافية و في فيزياء البلازما و في دراسة الظواهر الكونية، بالإضافة إلى التطبيقات الممكنة: إنتاج الأشعة السينية اللينة من أجل الفحص المجهري و الحفر بالأشعة السينية، والتصوير الإشعاعي. إن جهاز البلازما المحرقية هو عبارة عن جهاز خاص شبيه بجهاز بلازما التضيق) z-pinch(و هو مؤهل لإنتاج بلازما ذات عمر حياة قصير و كثافة إلكترونية عالية $n_e \sim 10^{20}$ cm-3 و طاقة حرارية إلكترونية مرتفعة $T_e \sim 500$ eV، و إمكانية إصدار نبضات عالية للأشعة السينية مع طيف طاقي واسع و للنترونات السريعة (في حالة بلازما الدوتريوم) و حزم من الجسيمات الطاقية المشحونة (الأيونات و الإلكترونات) [6-26]، و تكون البلازما المتضيقة لها شكل شبه العمود (column like) وتظهر نهايتها على شكل شبيه بالنقطة. لذلك تستعمل هذه السمات الخاصة للبلازما المحرقية كمصدر نقطي نبضي للأشعة في التطبيقات العملية و الصناعية مثل: الفحص المجهري التلامسي، و الحفر بالحزمة الإلكترونية و الأشعة السينية، و الطلي المعدني بالتبعثر الأيوني، وفي علم البلورات بالأشعة السينية و في التصوير الإشعاعي بالأشعة السينية للأجسام البيولوجية و المواد المعدنية. إضافة لذلك فإن الأشعة السينية الناتجة عن البلازما المحرقية لها دور مهم في تشخيص و معرفة خواص البلازما المتولدة [27, 28].

و تمتاز أجهزة البلازما المحرقية ببساطتها من حيث الحجم المدمج، وقابلية النقل، والكلفة القليلة وسهولة الصيانة، والإنتاجية العالية للأشعة السينية، حيث وجد أن 4% و 10% من الطاقة المختزنة تتحول إلى أشعة سينية ذات طاقة 1-1.5keV من أجل منظومات البلازما المحرقية ذات الطاقة المنخفضة و العالية [26–29]. و تعتمد خصائص إصدار الأشعة السينية بشكل كبير على وسطاء عمل أجهزة البلازما المحرقية (مثل: الغاز، الضغط، طاقة التخزين، تيار الانفراغ، ممانعة الجهاز، نوع مادة الإلكترود، الشكل، الجوانب المحيطة والهيئة، و كذلك قطبية الإلكترود الداخلي). ومن بين هذه العوامل يمتلك تركيب الغاز والضغط الأثر الأقوى. ومن الجدير بالذكر أن مقدار الجرعة يتعلق بالمسافة عن المنبع، وبنوع الغازات المستخدمة وبنوع مادة المصعد، ويمكن أن تتغير الجرعة بتغير جهد تشغيل البلازما المحرقية الكثيفة [4]. و تنتج نبضات الأشعة السينية الشديدة بواسطة القذف الإلكتروني للإلكترود المركزي بالإلكترونات المتحركة في غمد التيار ومن البقع الحارة [30].

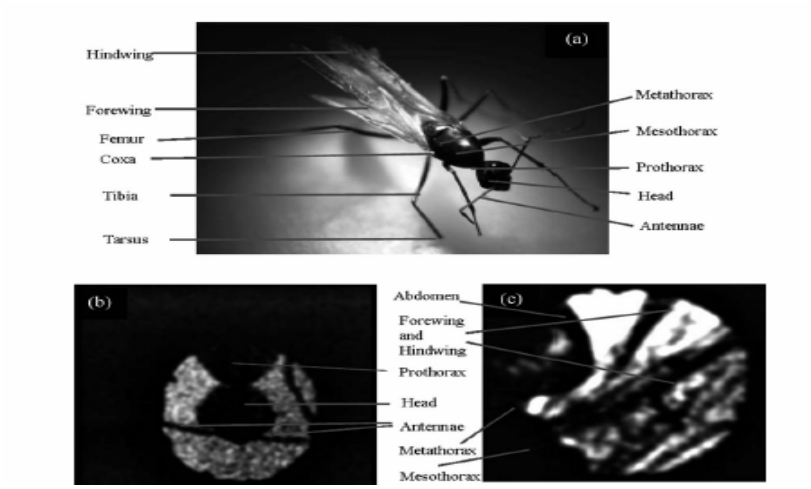
ولقد استخدمت الأشعة السينية اللينة الصادرة عن جهاز البلازما المحرقية (3kJ) والعاملة في جو من النيون و ذلك لتصوير الحشرات و الأجسام البيولوجية الأخرى [31]. كما يمكن استخدام منبع الأشعة السينية في التصوير الإشعاعي الميكروي باعتباره صغيراً جداً و هناك عامل إيجابي مناسب آخر هو أن زمن الانبثاق القصير جداً يسمح بالحصول على صور إشعاعية للحيوانات الحية و السوائل البيولوجية في الدورة الدموية [12].

3. بعض الأمثلة على استخدام البلازما المحرقية في التصوير الشعاعي

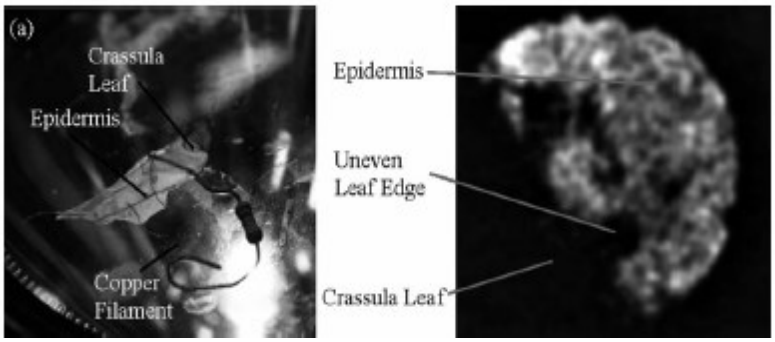
باستخدام أجهزة البلازما المحرقية تم التصوير الإشعاعي للعديد من الأجسام الحية البيولوجية. ونورد فما يلي بعض الصور الإشعاعية المأخوذة من المراجع المبينة:



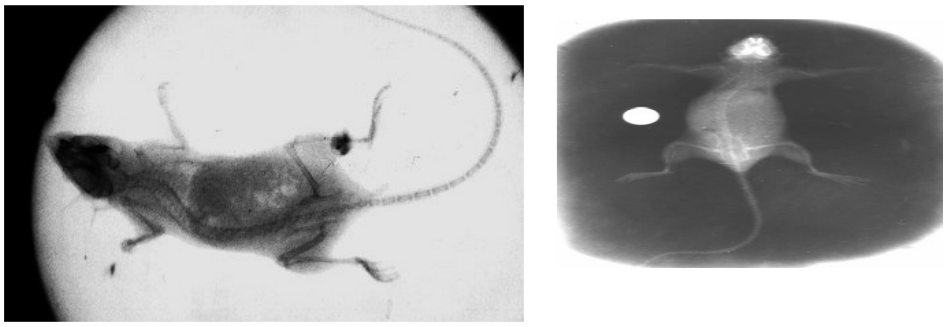
الشكل (1): صورة شعاعية لسمكة وضعت على بعد 27 CM من قمة المصعد [30]



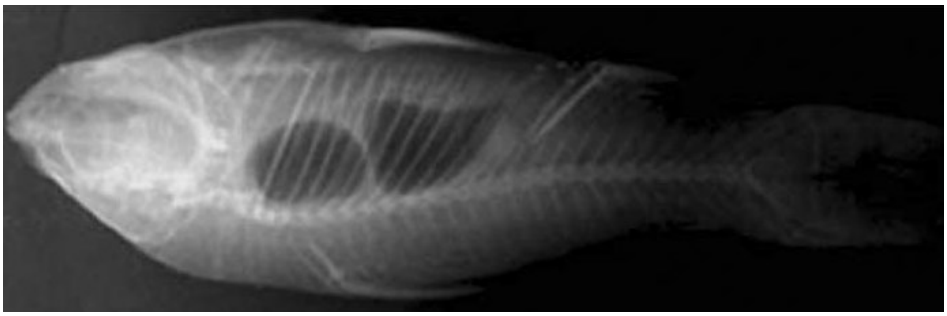
الشكل (2): صورة ضوئية مرئية لحشرة (A)، صورة بالأشعة السينية اللينة لجزء الحشرة الجبهي (B)، صورة بالأشعة السينية اللينة لتجويف بطن وأجنحة الحشرة [31].



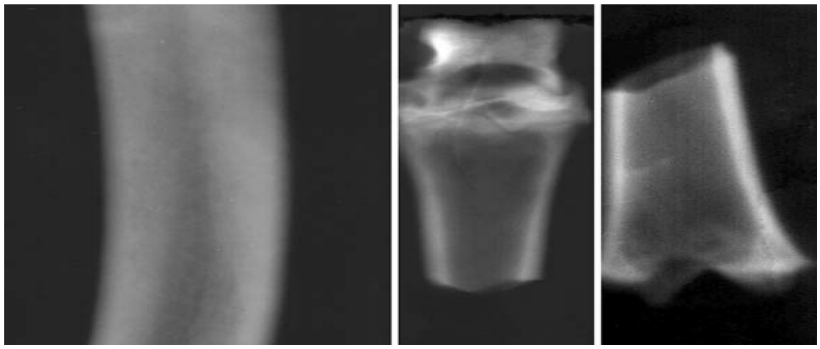
الشكل (3): صورة مرئية (A)، وصورة بالأشعة السينية للعينة (CRASSULA LEAF) [31].



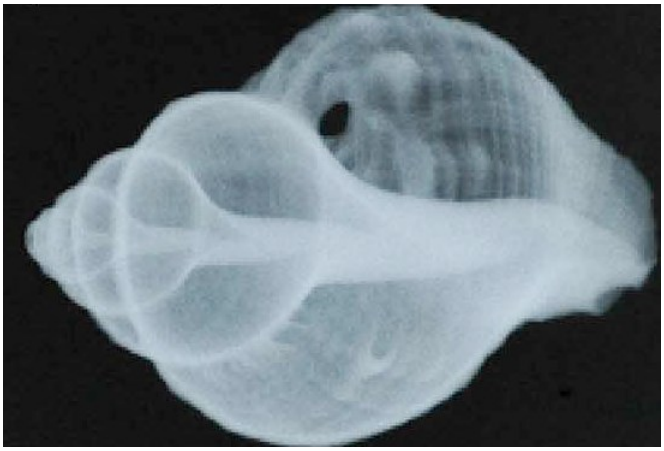
الشكل (4): صور شعاعية بواسطة البلازما المحرقية لفأر خلال رشقة واحدة [32].



الشكل (5): صور شعاعية بواسطة البلازما المحرقية لسمكة [33].



الشكل (6): صور شعاعية بواسطة البلازما المحرقية لعظام عجل وغنم [34].



الشكل (7): صور شعاعية بواسطة البلازما المحرقية لصدفة البحر [35].

4. الاستنتاجات

تقدّم هذه الدراسة تصوّراً عن إمكانية استخدام أجهزة البلازما المحرقية كأجهزة أشعة سينية مناسبة من أجل تصوير العينات البيولوجية بالاستفادة من المميزات التقنية والتشغيلية التي تتمتع بها مقارنة بالمنابع التقليدية بالإضافة إلى إتاحتها المجال للتحكم بطاقة وحجم الأشعة الصادرة. يمكن توسيع هذه

الدراسة مستقبلاً لدراسة المتغيرات المؤثرة على عملية إصدار الأشعة السينية مثل نوع وطاقة جهاز البلازما المستخدم بالإضافة إلى نوع الغاز المستخدم في عملية التشغيل.

المراجع

[1] S. Auluck, P. Kubes, M. Paduch, M. J. Sadowski, V. I. Krauz, S. Lee, L. Soto, M. Scholz, R. Miklaszewski, H. Schmidt, *et al*., "Update on the scientific status of the plasma focus," *Plasma*, vol. 4, pp. 450–669, 2021.

[2] M. Liu, "Soft X-rays from compact plasma focus," Ph.D. dissertation, School of Science, Nanyang Technological University, Dec. 1996.

[3] A. Bernard, "Plasma focus and its applications," *Science* (in French), pp. 836–872, 2003.

[4] L. Soto, "New trends and future perspectives on plasma focus research," *Plasma Phys. Control. Fusion*, vol. 47, pp. A361–A381, 2005.

[5] L. Soto, P. Silva, J. Moreno, G. Silvester, M. Zambra, C. Pavez, L. Altamirano, H. Bruzzone, M. Barbaglia, Y. Sidelnikov, and W. Kies, "Research on pinch plasma focus devices of hundred of kilojoules to tens of joules," *Braz. J. Phys.*, vol. 34, no. 4B, Dec. 2004.

[6] L. Soto, P. Silva, J. Moreno, A. Clausse, and W. Kies, "A very small plasma focus operating at tens of joules," in *Proc. 14th BEAMS Conf. and 5th Dense Z-Pinches Conf.*, Albuquerque, NM, USA, Jun. 23–28, 2002.

[7] L. Jakubowski and M. J. Sadowski, "Hot-spots in plasma-focus discharges as intense sources of different radiation pulses," *Braz. J. Phys.*, vol. 32, no. 1, p. 187, Mar. 2002.

[8] M. Sharif, S. Hussain, M. Zakaullah, and A. Waheed, "Study of the X-ray emission scaling law in a low energy plasma focus," *Plasma Sources Sci. Technol.*, vol. 13, pp. B7–B13, 2004.

[9] M. Zakaullah, K. Alamgir, M. Shafiq, M. Sharif, A. Waheed, and G. Murtaza, "Low-energy plasma focus as a tailored X-ray source," *J. Fusion Energy*, vol. 19, no. 2, Jun. 2000.

[10] M. S. Rafique, A. Serban, P. Lee, and S. Lee, "Neutron and soft X-ray emission from plasma focus," in *Proc. 26th EPS Conf. Contr. Fusion Plasma Phys.*, Maastricht, The Netherlands, Jun. 14–18, 1999, *ECA*, vol. 23J, pp. 1249–1252, 1999.

[11] V. Zoita, R. Presura, I. Paraschiv, A. Patran, M. Cengher, and C. Filip, "X-ray emission characteristics of focus plasmas," in *Proc. 4th Int. Workshop and School "Towards Fusion Energy—Plasma Physics, Diagnostics, Applications"*, Poland, Jun. 7–13, 2004.

[12] M. Venere, C. H. Moreno, A. Clausse, R. Barbuzza, and M. Del Fresno, "Tomographic system based on plasma focus X-rays," *Nukleonika*, vol. 46, Suppl. 1, pp. S93–S94, 2001.

[13] S. Hussain, M. Shafiq, R. Ahmad, A. Waheed, and M. Zakaullah, "Plasma focus as a possible X-ray source for radiography," *Plasma Sources Sci. Technol.*, vol. 14, pp. 61–69, 2005.

[14] S. Hussain, M. Zakaullah, S. Ali, S. H. Bhatti, and A. Waheed, "X-ray enhancement from a plasma focus by inserting lead at the anode tip," *Phys. Lett. A*, vol. 319, pp. 181–187, 2003.

[15] S. Hussain, M. Zakaullah, S. Ali, and A. Waheed, "Low energy plasma focus as an intense X-ray source for radiography," *Plasma Sci. Technol.*, vol. 6, no. 3, pp. 2296–2300, 2004.

[16] M. Zakaullah *et al*., "Characteristics of X-ray from a plasma focus operated with neon gas," *Plasma Sources Sci. Technol.*, vol. 11, pp. 377–382, 2002.

[17] A. Da Re, F. Mezzetti, A. Tartari, G. Verri, and V. A. Gribkov, "Preliminary study on X-ray source from plasma focus device for fast radiography," *Nukleonika*, vol. 46, Suppl. 1, pp. S123–S125, 2001.

[18] V. Raspa, L. Sigaut, R. Llovera, P. Cobelli, P. Knoblauch, R. Vieytes, A. Clausse, and C. Moreno, "Plasma focus as a powerful hard X-ray source for ultra fast imaging of moving metallic objects," *Braz. J. Phys.*, vol. 34, no. 4B, Dec. 2004.

[19] C. Moreno, M. Venere, R. Barbuzza, M. Del Fresno, R. Ramos, H. Bruzzone, F. P. J. Gonzalez, and A. Clausse, "Industrial applications of plasma focus radiation," *Braz. J. Phys.*, vol. 32, no. 1, Mar. 2002.

[20] C. H. Moreno, A. Clausse, J. F. Martinez, R. Llovera, and A. Tartaglione, "Ultrafast X-ray introspective imaging of metallic objects using a plasma focus," *Nukleonika*, vol. 46, Suppl. 1, pp. S33–S34, 2001.

[21] K. S. T. Gan, R. S. Rawat, R. V. Ramanujan, P. Lee, A. Patran, T. L. Tan, S. V. Springham, and S. Lee, "Deposition of nano-phase FeCo thin films using plasma focus device," in *Proc. 31st EPS Conf. Plasma Phys.*, London, U.K., Jun. 28–Jul. 2, 2004, *ECA*, vol. 28G, P-1.032, 2004.

[22] R. S. Rawat, T. Zhang, C. B. L. Phua, J. X. Y. Then, K. A. Chandra, X. Lin, A. Patran, and P. Lee, "Effect of insulator sleeve length on soft X-ray emission from a neon-filled plasma focus device," *Plasma Sources Sci. Technol.*, vol. 13, pp. 569–575, 2004.

[23] J. Y. Tan, S. Kanesan, A. C. Patran, R. S. Rawat, and P. Lee, "Investigation of X-rays ~5–30 keV from a 3 kJ dense plasma focus using silicon detectors," in *Proc. 30th EPS Conf. Contr. Fusion Plasma Phys.*, St. Petersburg, Russia, Jul. 7–11, 2003, *ECA*, vol. 27A, P-2.62, 2003.

[24] R. Antanasijevi *et al*., "Radiography by soft X-rays from plasma focus device," *Nuclear Tracks in Solids*, Nuclear Society of Slovenia, 2000.

[25] M. Zakaullah, K. Alamgir, M. Shafiq, M. Sharif, and A. Waheed, "Scope of plasma focus with argon as a soft X-ray source," *IEEE Trans. Plasma Sci.*, vol. 30, no. 6, Dec. 2002.

[26] S. Al-Hawat, M. Akel, and S. Shaaban, "X-ray intensity measurements in 2.8 kJ plasma focus device operated with argon using a five channel diode spectrometer," *J. Fusion Energy*, vol. 34, no. 1, pp. 163–171, 2015.

[27] S. Al-Hawat, M. Akel, and C. S. Wong, "X-ray emission from argon plasma focus contaminated with copper impurities in AECS PF-2 using five channel diode spectrometer," *J. Fusion Energy*, vol. 30, no. 6, p. 503, 2011.

[28] A. Patran, L. C. Tan, D. Stoenescu, M. S. Rafique, R. S. Rawat, S. V. Springham, T. L. Tan, P. Lee, M. Zakaullah, and S. Lee, "Spectral study of the

electron beam emitted from a 3 kJ plasma focus," *Plasma Sources Sci. Technol.*, vol. 14, pp. 549–560, 2005.

[29] M. Zakaullah, K. Alamgir, M. Shafiq, S. M. Hassan, M. Sharif, and A. Waheed, "Enhanced copper K-alpha radiation from a low-energy plasma focus," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 78, no. 7, Feb. 2001.

[30] S. Hussain, S. Ahmad, M. Z. Khan, M. Zakaullah, and A. Waheed, "Plasma focus as a high intensity flash X-ray source for biological radiography," *J. Fusion Energy*, vol. 22, no. 3, Sep. 2003.

[31] R. S. Rawat, T. Zhang, G. J. Lim, W. H. Tan, S. J. Ng, A. Patran, S. M. Hassan, S. V. Springham, T. L. Tan, M. Zakaullah, P. Lee, and S. Lee, "Soft X-ray imaging using a neon-filled plasma focus X-ray source," *J. Fusion Energy*, vol. 23, no. 1, Mar. 2004.

[32] F. Castillo-Mejía, M. Milanese, M. Moroso, J. Pouzo, and M. Santiago, "Research on dense plasma focus hard X-ray emission with scintillator-photomultiplier and thermoluminescent detectors measurements," in *Proc. EPS Plasma Physics Division (EPS-PPD)*, EPFL, Switzerland, 1998.

[33] S. Hussain, M. Shafiq, and M. Zakaullah, "Tailoring a plasma focus as hard X-ray source for imaging," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 96, Art. no. 031501, 2010.

[34] M. A. Tafreshi and E. Saeedzadeh, "Studies of the hard X-ray emission from the Filippov type plasma focus device, Dena," *J. Fusion Energy*, vol. 25, no. 3–4, Dec. 2006.

[35] F. Castillo, I. Gamboa-deBuen, J. J. E. Herrera, J. Rangel, and S. Villalobos, "High contrast radiography using a small dense plasma focus," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 92, Art. no. 051502, 2008.