JWPU
Journal of Al-Wataniya Private University
ISSN: 3105-2150

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

Evaluation Of Helium Ions Energy Loss Within Material Of Vacuum Chamber Inner Walls Of The AECS-PF1 Device

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

ABSTRACT

In this research, helium ions energy loss emitted by AECS-PF1 dense plasma focus device was evaluated through their collision with electrodes and inner walls of vacuum chamber. First, plasma focus parameters and ion beams characteristics when the pressure of helium gas changes were determined using Lee's code. The ions energy loss was found in tungsten, stainless steel and copper. The results showed a high energy loss in tungsten compared to stainless steel and copper due to the high number of electrons, as the ions lose most of their energy through elastic collision with the electron cloud, thus causing cracks and bulges in the surface layer of Tungsten is larger than stainless steel and copper.

KEYWORDS: Plasma Focus, Lee Code, AECS-PF1 Device, SRIM.

Submitted on August 4, 2024; Revised on September 18, 2024; Accepted on October 6, 2024.
© 2024 Al-Wataniya Private University. This work is licensed under the Creative Commons Attribution–NonCommercial–NoDerivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0) license.

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

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

تقييم فقدان طاقة أيونات الهيليوم ضمن مادة الجدران الداخلية لحجرة تفريغ جهاز البلازما المحرقية AECS- PF1

أ. د. وليد صهيوني، د. علاء ناصيف

الملخص

تمّ في هذا البحث تقييم فقدان طاقة أيونات الهيليوم الصادرة عن جهاز البلازما المحرقية الكثيفة AECS- PF1 من خلال اصطدامها مع الأقطاب والجدران الداخلية لحجرة التفريغ. تمّ أولاً إيجاد بارامترات البلازما المحرقية المتشكلة وخصائص الحزم الأيونية الصادرة عند تغيّر ضغط غاز الهيليوم باستخدام كود Lee. تمّ إيجاد فقدان طاقة الأيونات ضمن مواد التنغستين، الفولاذ والنحاس، أظهرت النتائج فقدان الطاقة المرتفع في التنغستين مقارنة بالفولاذ والنحاس وذلك بسبب العدد المرتفع للإلكترونات حيث تفقد الأيونات معظم طاقتها من خلال التصادم المرن مع السحابة الإلكترونية وبالتالي حدوث شقوق وانتفاخات في الطبقة السطحية من التنغستين بصورة أكبر من الفولاذ والنحاس.

الكلمات المفتاحية: البلازما المحرقية، كود Lee، جهاز AECS- PF1، SRIM.

1. مقدمة

تميّزت ظاهرة البلازما المحرقية منذ اكتشافها من قبل Mather [1] و Filippov [2] بتشكيل ما اصطلح على تسميته قبضة البلازما "pinch" والتي هي عبارة عن عمود بلازمي حار كثيف جداً يتكون من البلازما المنضغطة بواسطة الحقول المغناطيسية المتولدة ذاتياً أثناء عملية تفريغ كهربائي ضمن غاز موجود تحت ضغط معيّن داخل حجرة مفرّغة وانهيار هذه القبضة بعد فترة قصيرة جداً من تشكلها بسبب لا استقرارات البلازما مما يؤدي إلى اندفاع حزم أيونية والكترونية تحمل طاقة كبيرة وهذا ما لفت الانتباه إلى فكرة استخدام أجهزة البلازما المحرقية كمنابع أيونية والكترونية وبالفعل تمّ استخدامها في العديد من التطبيقات مثل ترسيب الأفلام الرقيقة [3] [4] ومعالجة المواد [5] وإنتاج النظائر المشعة قصيرة العمر [6] وطباعة الرقائق الالكترونية [7]. وتجدر الإشارة هنا إلى أن مواصفات الحزم الطاقية الصادرة تتعلق بالعديد من العوامل مثل طاقة الجهاز المستخدم، أبعاده الهندسية، نوع وضغط الغاز .... وهنا يبرز تحدي رئيسي لأجهزة البلازما المحرقية الكثيفة هو نوع المواد المستخدمة في تشكيل الأقطاب وحجرة التفريغ حيث يجب أن تتمتع بالعديد من المواصفات كقدرتها على تحمّل الحمل الحراري الناتج عن اصطدام الحزم الأيونية التي تحمل طاقة تصل إلى عدة مئات من keV، وفي هذا الإطار أجريت العديد من الدراسات والأبحاث التجريبية بدأت منذ عام 1976 حيث قام Bostich وآخرون [8] باستخدام أجهزة البلازما المحرقية بطاقات 5− 10 kJ لتشعيع أيونات الديوتيريوم على صفائح النحاس، الألمنيوم متعدد التبلور والسيليكون أحادي التبلور لأول مرة كما تم تحديد الضرر الإشعاعي الحاصل، كما استخدم Pimenov وآخرون [9] أجهزة بلازما محرقية مختلفة (PF-1000 وPF-6 وPF-5M) تعمل بالهيدروجين والديتيريوم لتشعيع التنغستين والفولاذ بواسطة نبضات عالية الطاقة من الحزم الأيونية لدراسة تأثيرها على تلف السطح وتطور البنية المجهرية والخصائص اللاحقة للمواد.

2. هدف البحث

يهدف البحث إلى تقييم فقدان طاقة أيونات الهيليوم الصادرة عن جهاز البلازما المحرقية الكثيفة AECS PF1 وتأثيرها عل سطح مواد التنغستن، الفولاذ والنحاس المستخدمة في صناعة الأقطاب وحجرة التفريغ من خلال إيجاد قدرة الإيقاف لهذه الأيونات.

3. النتائج والمناقشة

1.3. جهاز البلازما المحرقية الكثيفة AECS-PF1

يوجد هذا الجهاز في هيئة الطاقة الذرية السورية، وهو عبارة عن نسخة معدّلة عن جهاز البلازما المحرقية UNU/ICTP PFF. يعمل هذا الجهاز بطاقة تشغيل 2.8 kJ، وهو مصمم وفق نموذج ماذر (Mather Type) حيث تكون حجرة التفريغ من الفولاذ تحتوي على مصعد نحاسي بشكل أسطوانة طولها 160 mm وقطرها 19 mm محاطة بمهبط يتكون من 6 قضبان نحاسية بقطر 64 mm، يتم العزل بين المصعد والمهبط بواسطة الزجاج. يتم استخدام هذا الجهاز لدراسة ظاهرة البلازما المحرقية كمصدر للأشعة السينية اللينة والحزم الأيونية عند استخدام غازات مختلفة مثل الأرغون، النتروجين... بضغوط مختلفة [10] . وفيما يأتي البارامترات التشغيلية لهذا الجهاز [11] :

الجدول (1): بارامترات لجهاز البلازما المحرقية الكثيفة AECS-PF1 [11]

AECS-PF1 Parameters	
طاقة التشغيل	$2.8\ kJ$
تحريض الدارة	$1350\ nH$
سعة بنك المكثفات	$25\mu F$
مقاومة الدارة	$46\ m\Omega$
كمون التشغيل	$15\ kV$
الضغط	$Variable$
نصف قطر المصعد	$0.95\ cm$
نصف قطر المهبط	$3.2\ cm$
طول المصعد	$16cm$
غاز التشغيل	He

2.3. بارامترات البلازما المحرقية المتشكلة في جهاز البلازما المحرقية الكثيفة AECS PF1

باستخدام كود Lee تمّ إيجاد بارامترات البلازما المحرقية المتشكلة في جهاز عند تغيّر ضغط غاز الهيليوم من 0.5 Torr إلى 6.5 Torr وكانت النتائج وفق الآتي:

الجدول (2): بارامترات البلازما المحرقية في جهاز البلازما المحرقية الكثيفة AECS-PF1

ضغط الغاز Torr	ذروة التيار I_{peak} (kA)	تيار القبضة I_{pinch} (kA)	درجة حرارة البلازما T_e ($\times 10^6$ K)	نصف قطر القبضة r_p (cm)	طول القبضة z_p (cm)	زمن بقاء القبضة τ (ns)	الكمون المتحرض ضمن القبضة V_{max} (kV)	كثافة البلازما N_i ($\times 10^{23}/m^3$)
0.5	48.40	33.88	4.1	0.128	1.438	11.5	5.48	0.7
1	52.09	36.43	2.4	0.129	1.436	15.2	4.45	1.3
1.5	52.97	36.98	1.6	0.132	1.431	18.3	3.71	1.8
2	53.08	36.66	1.2	0.136	1.427	21.3	3.13	2.3
2.5	53.15	35.84	0.9	0.142	1.418	24.5	2.65	2.6
3	53.20	34.68	0.7	0.149	1.407	27.7	2.23	2.9
3.5	53.24	33.28	0.6	0.149	1.392	31.2	1.87	3.4
4	53.28	31.69	0.5	0.149	1.373	35.0	1.56	3.8
4.5	53.30	29.96	0.4	0.150	1.350	39.3	1.28	4.3
5	53.33	28.07	0.3	0.150	1.323	44.2	1.04	4.7
5.5	53.35	26.08	0.2	0.151	1.294	50.1	0.82	5.1
6	53.36	23.96	0.2	0.152	1.263	57.0	0.62	5.5
6.5	53.38	21.74	0.1	0.153	1.231	65.5	0.45	5.9

3.3. خصائص حزمة الأيونات المتشكلة في جهاز البلازما المحرقية الكثيفة AECS PF1

تمّ إيجاد خصائص حزمة الأيونات الصادرة بعد انهيار قبضة البلازما وذلك باستخدام كود Lee الإصدار (FIB 060613) الخاص بتحديد خصائص حزم الأيونات الصادرة وفق الآتي:

الجدول (3): خصائص حزمة الأيونات المتشكلة في جهاز البلازما المحرقية الكثيفة AECS-PF1

ضغط الغاز Torr	تدفق الأيونات J_b ($\times 10^{27}$ ions. $m^{-2}s^{-1}$)	تدفق الطاقة ($\times 10^{13}$ W.m^{-2})	طاقة حزمة الأيونات E_b (J)	عدد أيونات الحزمة ($\times 10^{14}$ Ions)
0.5	2.4	1.3	0.8	1.4
1	3	1.3	1.0	2.4
1.5	3.2	1.2	1.2	3.2
2	3.2	0.97	1.2	4
2.5	3	0.77	1.2	4.7
3	2.7	0.58	1.1	5.3
3.5	2.2	0.4	1.1	5.9
4	1.7	0.26	0.9	6.3
4.5	1.3	0.16	0.8	6.7
5	0.84	0.084	0.7	6.9
5.5	0.52	0.041	0.6	7
6	0.3	0.018	0.4	7
6.5	0.15	0.0067	0.3	6.9

4.3. فقدان طاقة أيونات الهيليوم ضمن المواد المدروسة

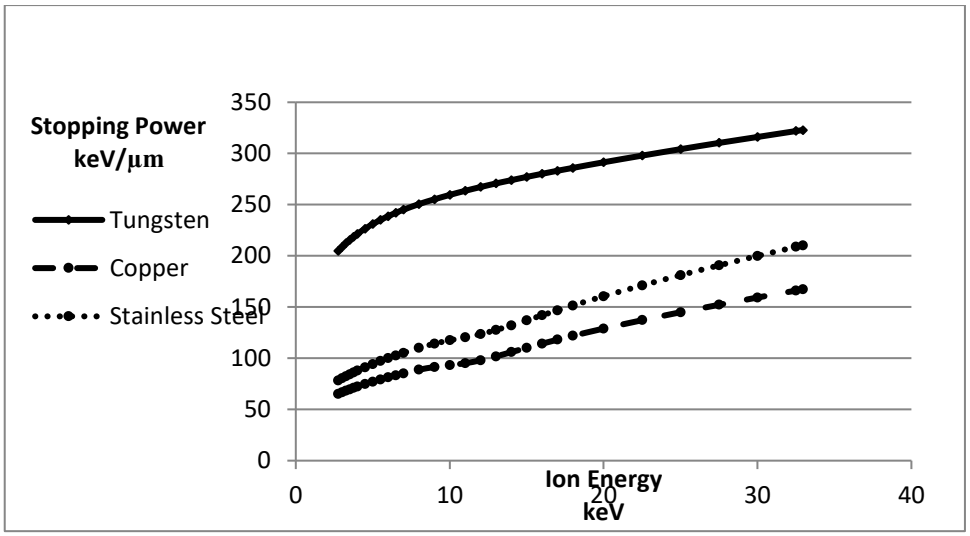
بالاستفادة من الجدول 3 تمّ إيجاد مجال طاقة أيونات الهيليوم الصادرة بعد انهيار قبضة البلازما حيث تقع ضمن المجال (2.75-32.94 keV)، وبالاستناد إلى العلاقة التي تعطي فقدان الطاقة:

$$S(E) = -\left(\frac{dE}{dx}\right)_{total} = -[\left(\left(\frac{dE}{dx}\right)_{nuclear}\right) + (\left(\frac{dE}{dx}\right)_{electronic})]$$

تمّ استخدام برنامج (The Stopping and Range of Ions in Matter SRIM) [12] لتحديد فقدان طاقة الأيونات ضمن المواد المدروسة وكانت النتائج الآتية:

الجدول (4): قيم فقدان طاقة الأيونات ضمن المواد المدروسة

طاقة الأيون keV	قدرة الإيقاف keV/μm		
	التنغستين	الفولاذ	النحاس
2.75	204.67	64.97	78.28
3	208.61	66.58	80.39
3.25	212.25	68.1	82.38
3.5	215.49	69.55	84.28
3.75	218.55	70.93	86.11
4	221.43	72.25	87.85
4.5	226.51	74.74	91.16
5	231.06	77.06	94.26
5.5	235.02	79.24	97.18
6	238.7	81.32	99.97
6.5	242.05	83.3	102.64
7	245.06	85.2	105.2
8	250.55	88.79	110.06
9	255.2	91.37	114.18
10	259.5	93.2	117.5
11	263.5	95.11	120.43
12	267.2	97.98	123.52
13	270.7	101.77	127.55
14	273.9	105.95	132.12
15	277.1	110.15	136.92
16	280.1	114.21	141.96
17	283.1	118.08	146.72
18	285.9	121.88	151.5
20	291.4	128.95	160.54
22.5	297.9	137.14	171.09
25	304.2	144.92	181.15
27.5	310.3	152.17	190.68
30	316.1	159.29	199.89
32.5	321.9	166.07	208.75
32.94	322.8	167.18	210.26



الشكل (1): قيم فقدان طاقة الأيونات ضمن المواد المدروسة

نلاحظ من النتائج:

- ازدياد قيم فقدان الطاقة مع ازدياد قيمة طاقة الأيونات (الشكل 1).
- تأثير عدد الإلكترونات للمادة على كبح الأيونات وبالتالي نقل طاقتها إليها وهذا ما نلاحظه في التنغستين (74 إلكترون) حيث تفقد الأيونات طاقتها من خلال التصادم المرن مع السحابة الإلكترونية بينما ينخفض فقدان طاقة الأيونات مع انخفاض عدد الإلكترونات كما في حالة الفولاذ وأقل قيمة لفقدان الطاقة في النحاس.
- اختراق أيونات الهيليوم لمسافة قصيرة جداً ضمن التنغستين مقارنة بالفولاذ والنحاس وبالتالي نشوء انتفاخات وشقوق في التنغستين ناتجة عن الكمية المرتفعة من الحرارة الناتجة عن كبح الأيونات وذلك بصورة أكبر من الفولاذ والنحاس.
- من المحتمل أن تؤدي هذه الانتفاخات والشقوق إلى تآكل جزء من التنغستين وانتقال بعض الذرات إلى البلازما مما يؤدي إلى تأثيرات سلبية على البلازما المحرقية مثل انخفاض درجة حرارتها وزيادة الشوائب فيها.

4. الاستنتاجات والتوصيات

تفيد نتائج هذه الدراسة في توضيح تأثير اصطدام أيونات الهيليوم بمادة الأقطاب والجدران الداخلية لحجرة التفريغ من خلال اختبار عدد من المواد وتفاعلها مع الحزم الأيونية الناتجة عن البلازما المحرقية

أو تفاعلات الاندماج النووي وتأثير الطاقة التي تحملها هذه الحزم على المواد المدروسة لاستخدامها لاحقاً في تصنيع مكوّنات أجهزة البلازما المحرقية الكثيفة.

المراجع

[1] J. W. Mather, "Formation of a high-density deuterium plasma focus," *Physics of Fluids*, vol. 8, no. 2, pp. 366–377, 1965, doi: 10.1063/1.1761231.

[2] V. F. D'yachenko and V. S. Imshennik, "Two-dimensional magnetohydrodynamic model for the dense plasma focus of a Z pinch," in *Reviews of Plasma Physics / Voprosy Teorii Plazmy / Вопросы Теории Плазмы*, M. A. Leontovich, Ed. Boston, MA, USA: Springer, 1980, pp. 199–299, doi: 10.1007/978-1-4615-7814-7_3.

[3] C. R. Kant, M. P. Srivastava, and R. S. Rawat, "Dense plasma focus energetic ions based fullerene films on a Si(111) substrate," *Physics Letters A*, vol. 239, nos. 1–2, pp. 109–114, 1998, doi: 10.1016/S0375-9601(97)00953-5.

[4] T. Zhang, J. Lin, A. Patran, D. Wong, S. M. Hassan, S. Mahmood, T. White, T. L. Tan, S. V. Springham, S. Lee, P. Lee, and R. S. Rawat, "Optimization of a plasma focus device as an electron beam source for thin film deposition," *Plasma Sources Science and Technology*, vol. 16, no. 2, pp. 250–256, 2007, doi: 10.1088/0963-0252/16/2/006.

[5] M. Hassan, *Plasma Processing of Materials Using Plasma Focus*. Lahore, Pakistan: GC University Lahore, 2006.

[6] A. Nassif, W. Sahyouni, O. Zeidan, and N. Kafa, "Determination of conditions for obtaining radioactivity of nitrogen-13 isotope for medical use by NX2 dense plasma focus device," *St. Petersburg Polytechnic University Journal: Physics and Mathematics*, vol. 16, no. 2, pp. 98–110, 2023.

[7] P. Lee, X. Feng, G. X. Zhang, M. H. Liu, and S. Lee, "Electron lithography using a compact plasma focus," *Plasma Sources Science and Technology*, vol. 6, no. 3, pp. 343–348, 1997.

[8] W. H. Bostick, V. Nardi, W. Prior, J. Choi, P. J. Fillingham, and C. Cortese, "Radiation damage (blistering) in Al, Cu, Si by exposure to a plasma focus discharge," *Journal of Nuclear Materials*, vol. 63, pp. 356–372, 1976, doi: 10.1016/0022-3115(76)90350-0.

[9] V. N. Pimenov, E. V. Demina, L. I. Ivanov, V. A. Gribkov, A. V. Dubrovsky, U. Ugaste, T. Laas, M. Scholz, R. Miklaszewski, B. Kolman, and A. Tartari, "Damage and modification of materials produced by pulsed ion and plasma streams in dense plasma focus device," *Nukleonika*, vol. 53, no. 3, pp. 111–121, 2008.

[10] A. E. Dubinov, E. I. Fomicheva, and L. A. Senilov, "Research with plasma foci in countries of Asia, Africa, and Latin America," *Reviews of Modern Plasma Physics*, vol. 4, no. 1, art. no. 6, 2020, doi: 10.1007/s41614-020-0041-1.

[11] M. Akel, S. Al-Hawat, M. Ahmad, Y. Ballul, and S. Shaaban, "Features of pinch plasma, electron, and ion beams that originated in the AECS PF-1 plasma focus device," *Plasma*, vol. 5, no. 2, pp. 184–195, 2022, doi: 10.3390/plasma5020014.

[12] J. F. Ziegler, M. D. Ziegler, and J. P. Biersack, “SRIM—The stopping and range of ions in matter (2010),” *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*.