

تصميم وتطوير منظومة مفتاح الشرارة الكاذبة لاستخدامها في بلازما ليزر بخار النحاس

د.احمد جمعة مهوس
م.م.الاء فرحان سلمان
كلية الطب –جامعة الكوفة

الخلاصة :

مفاتيح القدرة العالية ذات اهمية عالية في تشغيل ليزرات القدرة العالية. إن مفتاح الشرارة الكاذبة (سيدو) صممت لتحل محل مفتاح القدرة العالية كالثايرترون وفجوة شرارة القذح التقليدية. سيدو عبارة عن تفريغ كهربائي بغاز تحت ضغط منخفض (0.1-1) ملي مار في غرفة تفريغ خاصة مصممة لاختبار هذه المنظومة حيث تكون اعلى قيمة لتيار التفريغ (400A) بزمن نهوض (40ns)، حيث تمت دراسة معالم هذه المنظومة (المفتاح) مثل زمن الارتفاع وزمن الاسترجاع ومحاثة المفتاح والمقاومة الداخلية في حالة الانهيار، كان زمن التراوح بحدود $\pm 10ns$ عند فولتية شحن (15KV) بتكرارية مقدارها تقريباً (1KHz).

استخدمت هذه المنظومة (سيدو) في بلازما ليزر بخار النحاس وحصلنا على افضل تطابق بين دائرتي الشحن والتفريغ وبدون تسخين المنظومة ومقارنة هذه النتائج مع الثايرترون مع نفس النظام. إن التقنية المستخدمة لقذح المنظومة هي قذح التفريغ السطحي وهو قرص رقيق من النحاس يكون بجانب الكاثود وتطبيق نبضة قذح سالبة 1KV بعرض (0.4 μs) فلو حظ هناك عدم وجود تأخير بين التفريغ الرئيس والتفريغ المسبق للتأين عند تطبيق نبضة القذح السالبة عند الكاثود. إن زمن حياة (الموثوقية) لهذا المفتاح تعتمد على سمك ونوع المادة العازلة في التفريغ الرئيس وفجوة القذح وزمن التكرارية.

Abstract :

H.voltage switches are very important for using to drive high power lasers. Pseudo spark switch system was designed, its replace rather than high –power switch such as thyatron, and ordinary spark gap. Pseudo spark is another kind of electrical discharge of low gas (0.1-1) mbar yield in chamber has a special design.

Pseudo spark switch was tested by using chamber contains special gas Ar in 0.1 mbar, the peak current 400A with rise time 20ns study the switching parameter of this system such as, recovery time ,jitter time, inductance, and the internal resistance during the break down case. Jitter time is $\pm 10ns$ in the 15KV with frequency repetition about (1KHz).The pseudo spark switch was using drive the plasma tube of copper vapor laser and by this system get a best matching between discharge and charging circuit with out warms the system and compare the result with using thyatron at the same system .The trigger technique is surface discharge trigger, it is a thin copper disc beside the cathode, applied negative pulse (trigger pulse) 1KV, 04 μs , there is no sensitive delay time between the main discharge and preionization discharge when the trigger applied at cathode .The life time of this system depends on the thickness, kind of insulation material in the main and trigger gap and the discharge parameter, specially the repetition frequency.

1- المقدمة:

يمكن الاستعاضة عن المفاتيح المستخدمة بالليزر كالثايرترون وفجوات القذح التقليدية بفجوات قذح شرارة كاذبة Pseudo Spark لها مواصفات افضل من حيث التكرارية وزمن نهوض التيار (1) اعتمد في هذا البحث تصميم فجوة منفردة ذروة التيار فيها لاتزيد عن (400A).تعرف منظومة مفتاح الشرارة الكاذبة (سيدو) على انها تفريغ كهربائي لغاز تحت ضغط منخفض (0.1-1) ملي بار موجود داخل حجرة تفريغ خاصة محتوية على قطبين معدنيين مستويين مثقوبي المركز ومعزولين عن بعضهما بحلقة عازلة ذات ابعاد قليلة من الملمترات (2) حيث يمتلك هذا المفتاح بعض الصفات التي جعلته اكثر اهمية في تطبيقات الضغط العالي والقدرة العالية (3) ومنها.

- زمن نهوض التيار مقارب الى زمن نهوض التيار في فجوة القذح ولكنه اسرع من زمن نهوض الثايرترون.
 - زمن تراوح الثايرترون اقل من زمن تراوح فجوة القذح سيبدو ولكنها افضل من زمن تراوح فجوة القذح التقليدية .
 - لا يوجد تأخير محسوس بين القذح والانهييار الرئيسي عندما يكون القذح بالمهبط والعكس في قذح الثايرترون .
 - يعمل المفتاح بكفاءة عالية وبدون حالة تغيير معالمته وصموده امام التيار العكسي الموجود .
 - يمتاز بمعدل تكرارية عالية ومعدل تغير التيار di/dt عالي وذروة تيار عالية.
 - يكون مصدر لحزم الكترونية وايونية بسيط ورخيص.
 - لا يحتاج قطب المهبط الى تسخين كالحالة المتبعة في تسخين مهبط الثايرترون.
 - خرج قدرة الليزر بطاقة عالية اذا ماقورنت عند استخدام فجوة قذح تقليدية.
 ان مفتاح الشرارة سيبدو تدعى بالشرارة الكاذبة لانها من الخارج تشبه فجوة القذح التقليدية ولكن عملها من الداخل مختلف حيث تعمل الى الجهة اليسرى من القيمة الدنيا لمنحني باشن (شكل 1).
 ومن خلال دراسات منحني باشن لوحظ ان فولطية الانهييار U_B لغاز عند ضغط معين محصور بين قطبين مستويين متوازيين تكون دالة لحاصل ضرب البعد بينهما (d) وضغط الغاز (p) حيث ان:

$U_B = f(p.d)$
 وهذا يعبر عن ما يسمى منحني باشن والذي يوضح السلوك الواحد تقريباً لجميع انواع الغازات (4). ان منظومتنا فجوة القذح تعطي نوع جديد من التفريغ الموجود مابين القيمة الدنيا لمنحني باشن $p.d = \text{mbar.mm}$ والانهييار الفراغي $p.d > 10^{-3} \text{ mbar.mm}$

2- طريقة العمل:

1-2 تصميم وتصنيع المنظومة

شملت المنظومة تحضير مفتاح فجوة قذح سيبدو منفردة القناة وذلك بعد اضافة قطب مصنوع من معدن النحاس بسمك يضع ملمترات معزولة بحلقة عازلة داخل منطقة الفجوة الرئيسية، وتكون اقطاب حجرة التفريغ الرئيسي لهذه المنظومة وهما المصعد والمهبط مجوفي الشكل حتى تكون ميكانيكية التفريغ في قناة اوسع سماهي عليه في حالة استخدام منظومة تحتوي على قطب مهبط مجوف فقط والذي يكون التفريغ محصور عند قناة الجزء المركزي لتقرب المهبط (5).

1-1-2 التصميم والتصنيع

اعتمد تصميم المفتاح على التصاميم التي افرزتها البحوث السابقة لتصنيع نماذج ذات مواصفات جيدة معتمدة على نموذج بسيط لفجوة قذح منفردة وقد شمل التصميم والبناء على محاور اساسية وهي:

أ) المصعد (Anode)

وهو على شكل اسطوانة مغلقة مجوفة طولها (5سم) مصنوعة من الحديد المقاوم للصدأ Stainless steel . ان قطر القاعدة العليا الداخلي (143ملم) وقطرها الخارجي (164 ملم)، اما قطر القاعدة السفلي الخارجي (110 ملم) وقطرها الداخلي (104ملم).

يحتوي قطب المصعد على ثقبين مركزيين علوي وسفلي قطر منهما لا يزيد عن (3 ملم) يمثل القطب السفلي الثقب المركزي والذي يمر خلاله عمود التفريغ البلازما الى المهبط اما الثقب العلوي وهو لغرض اجراء الترصيف الليزري لغرض احكام تطابق الثقوب المركزية مع قاعدة المهبط لضبط حالة التوازي بين الاقطاب. ويحتوي الوجه العلوي للاسطوانة (المصعد) على حلقة معدنية من نفس المعدن لغرض تثبيت المصعد مع المهبط عبر انبوب مسنن من مادة عازلة (البكلايت) او التفلون لتفادي حالة التوصيل الكهربائي بين القطبين .

ب) المهبط (Cathode)

وهو مشابه تماماً لاسطوانة المصعد الا انه يحتوي على فتحة لاجراء التفريغ الغازي خلالها وعلى جانب القاعدة السفلى بالاضافة الى ان مركز المهبط مغلقاً.

2-1-2 الفجوة الرئيسية (Main gap)

تتحدى الفجوة الرئيسية بسمك وقطر المادة العازلة الفاصلة بين القطبين والتي يجب ان تكون مادة ذات عازلية عالية جداً لتفادي حالة الانهييار فيها وقد استخدم لهذا الغرض مادة السيراميك من نوع Al_2O_3 .

3-1-2 قطب القذح (Trigger Electrode)

يتكون قطب القذح من صحيفة رقيقة من النحاس او الالمنيوم ويراعى ان يكون قطب القذح عالي النقاوة وخالي من الغازات المحصورة Trapped gases.

2-1-4 وحدة تجهيز الغاز

- أ) قناني تجهيز الغازات كل قنينة مزودة بمنظم ضغط مع مقياس ضغط.
 ب) مقياس جريان Flow meter ابرية ملحقة مع المقاييس .
 2-1-5 تصميم قاعدة من مادة البيرسبكس لحمل وتثبيت المفتاح بارتفاع (15 ملم).

3- النتائج والمناقشة

لقد تحققت كفاءة مفتاح سيدو باطلاق نبضات ذات قمة تيار (400A) وبزمن نهوض سريع ومعدل ارتفاع للتيار تقريبا $(1.5 \times 10^{10} \text{ A/S})$ ملائمة لتحقيق دورة انبعاث محفز في ليزر بخار النحاس أي ان ضخ مستوى الليزر العلوي بتيار التفريغ بفترة زمنية لا تتعدى 15% من زمن عمر المستوى وهناك توافق بين معلمات الانبوب البلازمي والمفتاح أي ان المعدل الزمني لتكرار الضخ متناغم مع زمن مستوى الليزر السفلي أي بحدود (100-200 μ s)، كما ان الفولطية المسلطة عالية تتراوح (10-20) كيلو فولط ملائمة لتحقيق النسبة ($P > 10 / E > 20$) فولط / سم. ملي بار والتي لها اهمية في توليد الكترونات وسط بلازمي بطاقة موائمة (4-6) الكترن فولط وهكذا بالامكان موائمة مواصفات فجوة قرح الشرارة الكاذبة (سيدو) على نوع الليزر المطلوب انتاجه لكونها يمكن ان تعمل في مدى كبير من الموثوقية.
 تم استخدام نبضة قرح سالبة بقيمة (600V) وبعرض (400ns) (شكل 2)، الجدول (1) يوضح العلاقة بين فولطية الصمود (Hold off voltage) مع ضغط الغاز المستخدم (غاز الاركون) عند طول فجوة (5 ملم) باستخدام البيرسبكس مادة عازلة بسلك (4 ملم). حيث اجريت هذه النتائج عند متسعة شحن (10 μ f) عبر مقاومة توازن $R=10M\Omega$ ومتسعة تفريغ $C_s=5.1nF$.

لوحظ عند القرح بهذه التقنية يكون عرض نبضة تيار التفريغ كبيرة نسبيا وبالتالي يؤدي الى قلة قيمة التيار وهذا يعود الى زيادة زمن الارتعاش لهذه المنظومة، وفي حالة تغير المسافة الفاصلة بين قطبي القرح في الفجوة نلاحظ هناك تغير في قيمة فولطية الانهيار والجدول (2) يوضح هذه الحالة عندما تكون مسافة القرح (10 ملم)، فكلما تزداد المسافة الفاصلة تزداد فولطية الانهيار طبقاً لزيادة الفولطية المطبقة بينما يقل المدى المعمول به في منحنى باشن المتعلق بقيمة عالية. لوحظ ان زمن التأخير يعتمد على ضغط الغاز حيث انه يقل مع زيادة الضغط ومن اجل الحصول على فولتية انهيار عالية فانها تزداد عند الضغوط المنخفضة طبقاً للتصميم الخاص لهذه الانواع من المفاتيح ذات الحجر المجوفة باستخدام تقنية خاصة لقرحها.

لقد لوحظ ومن خلال التجربة وما افرزته البحوث السابقة (6,7,8,11) تأثير ضعيف جد على فولتية الانهيار عند استخدام النحاس او الالمنيوم بدلا من معدن الحديد المقاوم للصدأ.

الشكل (3) يوضح نبضة التيار الحاصلة من دائرة الاختبار، حيث تكون ذروة التيار الامامي (350A) وذروة التيار العكسي (100A) ومعدل نهوض التيار (di/dt) بحدود ($1.4 \times 10^{10} \text{ As}^{-1}$) وزمن نهوض التيار (20nsec) كانت معلمات المفتاح كالاتي:

$$C = 0.33nF, L = 290nH, R = 11ohm$$

وبالمقارنة مع نبضة تيار الثايرترون (Cx1735) المستخدم في هذا العمل كانت ذروة التيار الامامي (280A) وذروة التيار العكسي (140A-) وعرض نبضة التيار (200ns) ولذلك كانت نبضة مفتاح سيدو تمتاز بزمن نهوض سريع مما يؤدي الى ارتفاع زمن معدل نهوض التيار المفيد في كثير من تهيج الوسط البلازمي المستخدم في انتاج الليزر والجدول (3) يوضح تلك الفروقات. ان دائرة اختبار المنظومة تحتوي غالبا على متسعة تفريغ ذات قيم (6-2 nF) في مقاومة حمل (10 Ω) وبحثية كلية للدائرة (200nH) (9,10) وتلك القيم نموذجية في ليزرات بخار النحاس الطولي من اجل الحصول على درجة حرارة اكثر من (1700°C) درجة الحرارة المثلى للعمل الليزري في ليزر بخار النحاس فان معدل القدرة الكهربائية المنقولة بواسطة مفتاح سيدو بحدود (2.5KW) ($1/2CV^2f$) عند تردد (5KHz) ومتسعة التفريغ (10ns) وفولتية شحن (10KV) وبمعدل تيار قدرة (0.3A). وهذا التوافق لا يمكن الحصول عليه بهذا التجانس في المفاتيح الاخرى كالثايرترون الا بعد تسخين الحمل لفترة كافية والحصول على درجة الحرارة المثلى للعمل الليزري.

نتيجة لكثافة التيار العالية في منطقة الثقب المركزي لقطب المهبط لمفتاح فجوة قرح منفردة والتي بحدود ($1KA/cm^2$) والتي تؤدي الى تاكل مادة الثقب الداخلي (3ملم) لفترة وجيزة وخاصة الثقب المركزي للمادة العازلة. وللتخلص من ظاهرة التآكل والعمل بموثوقية عالية تم تصميم مفتاح ذات طبقات متعددة وثلاث طبقات بدلا من واحدة تحت تأثير تيار قرح متناغم واحد وبالتالي توزيع التيار على هذه القنوات وتقليل التآكل وبالتالي تنوم الفترة التشغيلية لهذه المنظومة.
 ان منظومة مفتاح سيدو استعملت في تفريغات ليزرات ابخرة المعادن النبضية (9,10) حيث استخدمت كمفتاح قدرة سريع في ليزر بخار النحاس.

جدول (1) يوضح قيم فولتية الصمود لغاز الاركون عند طول فجوة (5ملم)

Pressure mbar	Hold off voltage /KV	H.V KV
0.13	20	18
0.15	20	15
0.20	15	10
0.30	7	5

جدول (2) فولتية صمود الغاز عندما تكون مسافة فجوة القذح (10ملم)

Pressure mbar	Hold off voltage /KV	Applied voltage KV
0.12	18	16
0.13	17	15
0.15	15	13
0.25	6	5

جدول (3) يوضح الفروقات

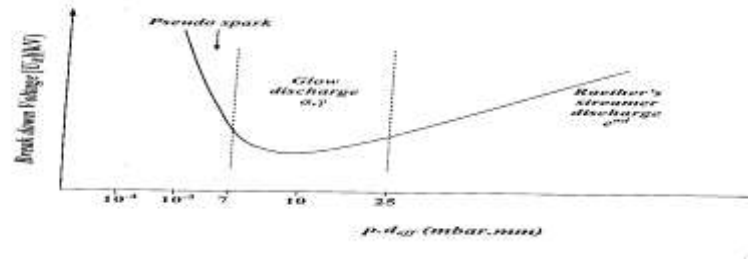
المصدر	ns	A	nF	KV	المفتاح
قيد البحث	50	400	10	15	سيدو
قيد البحث	38	350	5	10	سيدو
12	300	1000	10	20	ثايرترون
12	240	600	5	15	ثايرترون
قيد البحث	200	280	10	15	ثايرترون

KV = فولتية التشغيل

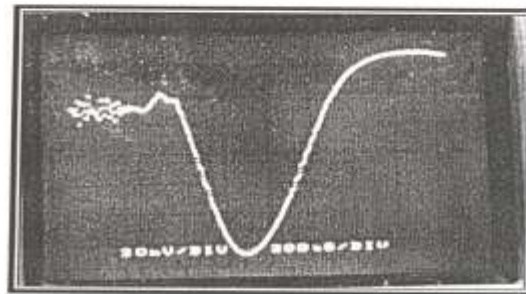
nF = سعة الحزن

A = اعلى تيار

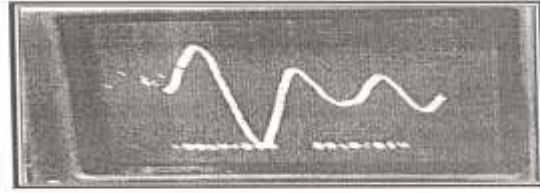
ns = عرض النبضة



الشكل (1) منحنى باشن النموذجي⁽⁹⁾



الشكل (2) نبضة القذح السالبة



الشكل (3) تذبذب التيار كدالة للزمن عند فولتية شحن 6KV

المحور الافقي 20ns / div

المحور العمودي 5A /div

4- الاستنتاجات

- 1- في مجال تشغيل الانبوب البلازمي لليزر بخار النحاس لاحظنا ان تيار التفريغ يكون قليل تبعاً الى نوع ونقاوة الغازات المستخدمة.
- 2- ان لعناصر الدائرة الكهربائية (R-L-C) دور كبير في الحصول على قدرات عالية أي هناك قيم معينة لهذه العناصر يمكن ان توفر الشرط الضروري لاشتغال الدائرة في حالة التخميد الحرج التي تكون عنده الطاقة المتبددة اقل مايمكن.
- 3- فولتية الانهيار لا تعتمد على نوع معدن حجرة التفريغ بل أيضا على ضغط الغاز ومعلمات المفاتيح الهندسية.
- 4- نوع الغاز داخل حجرة التفريغ له تأثير بسيط على سعة النبضة دون شكلها.
- 5- تقنية منظومة مفاتيح فجوة قدح سيدو تعمل عند الجهة اليسرى من منحنى باشن.
- 6- موثوقية العمل لهذه المنظومة تعتمد على نوع المادة العازلة المستخدمة كالمواد السيراميكية.

5- المصادر

- [1]-D.B LOESS,I .Kambar and H.Riege "The triggered pseudo-spark chamber as a fast switch and as a high-intensity beam source", Rev. sci. instrum., Vol.205, p173-184,(1983).
- [2]-G.Mechtersheimer, R.Kohler,T.Laser and R. Meyer, "High repetition rate, fast current rise pseudo spark switch",J.phys. E.Sci.instrum., No.19,p466-470,(1986).
- [3]-IM, abbas and P.Bayle "A hybrid hydrodynamic-like model for pseudo spark discharge" IEEE.T.plasmaSci., Vol.24 N.3,P.1106-1119,(1996).
- [4]-K.Frank, and J.christiansen,"The Fundamentals of the pseudo spark and its application",X111th Int.On discharges and Electrical insulation in Vacuum-pairs,(1988).
- [5]-W.Benker,J.Christiansen, and et al,"Generation of intense pulsed Electron beams by the pseudo spark discharges"X111th, Int.conf. On discharges and Electrical insulation in vacuum,PP.378-380,(1988).
- [6]-G.Lins, and rthnann"The densities of the neutral and ionized metal vapor in a recovering pseudo spark switch",J. of phys. DAppl. Phys. Vol.28,No.2,PP.319-323,(1995).
- [7]-H.Mvon Bergman "Triggered multi channel surfaces spark gaps" ,J.phys, E.sci, instrum. Vol.15,(1982).
- [8]-J.W.Mather, and A.H.Williams , "Some properties of a graded vacuum spark gap", Vol.34, No.3,(1960).
- [9]- S.C.Brown "introduction to electrical discharge in gases" John Wiley and Sons inc.USA(1966).
- 10- حيدر ،عدوية جمعوية ،رسالة ماجستير ،سنة 1995 ،بناء ليزر صغير الحجم TEA-CO₂.
- 11- لطيف كمال حسين ،اطروحة دكتوراه، سنة 1997، تصميم وبناء منظومة ليزر بخار النحاس كمذبذب بكر ،جامعة بغداد.
- [12]- H.Manown and C.A. Pirrie ,”Advanced Thyatron as switches for the Nineties “,EEV, U.K,1990.