قياس دالة التوزيع الطاقي للالكترونات لبلازما الهواء في منطقة هبوط الانود باستخدام طريقة التراكب

عطا عليوي حسين[١] و نديم خالد حسن[٢]

[١] شركة مصافي الشمال، بيجي، جمهورية العراق

[٢] قسم الفيزياء،كلية التربية، جامعة تكريت، تكريت، جمهورية العراق

(استلم ١٣ / ٩ / ٢٠٠٧ ، قبل ٩ / ١ / ٢٠٠٨)

الملخص:

تم في هذا البحث اجراء القياسات الخاصة بمنحني خواص التيار والفولتية ودالة التوزيع الطاقي للالكترونات في منطقة هبوط الانود باستخدام طريقة التراكب لإشارة الفولتية المتناوبة على التيار الكهربائي المستمر للمجس . وأثبتت النتائج أن شكل دالة التوزيع الناتجة من منحني خواص التيار والفولتية كان غير ماكسويلي وتم اكتشاف وجود مجموعتين من الالكترونات تمتلك درجات حرارة مختلفة وهذه الالكترونات أدت إلى تكون بلازما طويلة العمر في هذه المنطقة .

١. المقدمة:

تلعب مجسات لانكمورالمفردة الدور الرئيس في قياسات البلازما ، إذ تعتمد الطرائق التجريبية على استخدام هذه المجسات ولا زال هذا الدور يزداد أهمية حتى الآن خاصة بعد التطور الهائل في نظم التحسس والقياس والسيطرة. ونظرا لصغر حجم المجس وتماسه مباشرةً مع البلازما[5] فإنه يسبب اضطرابات قليلة في البلازما [10] ولهذا يستخدم بصورة واسعة في قياسات دالة التوزيع الطاقي للإلكترونات[2] . ويطلق مسمى التوزيع على الحالة(State) التي يتم تعريفها بدلالة المديات الصغيرة للموقع والزخم والطاقة الداخلية [9] .وقام (Druyvesteyn) بصياغة مفهوم دالة التوزيع الطاقي للالكترونات التي تمتلك انجرافاً منتظماً وسرعاً عشوائية [11] ويشير هذا المفهوم إلى أن دالة توزيع الإلكترون تعتمد على تأثير التوازن في كسب الطاقة من المجال الكهربائي وخسارة الطاقة في التصادمات [1].

2. النظرية:

١- حساب دالة التوزيع الطاقي للإلكترونات:

يمكن حساب دالة التوزيع الطاقي للإلكترونات $EEDF(eV_p)$ من المشتقة الثانية لمنحني خواص التيار والفولتية لمجس لانكمور وحسب المعادلة الآتية[3] :

$$EEDF(eV_p)=\left(\frac{4}{A_p\ e^2}\right)\left(\frac{m_e\ V_P}{2\ e}\right)^{1/2}\ \frac{d^2 I_e}{dV_P^2} \qquad \ldots(1)$$

حيث أنّ (A_P) يمثل مساحة المجس و (V_P) هو جهد المجس و (I_e) التيار الإلكتروني المنساق بوساطة المجس من البلازما ، ويكون (I_e) مساوياً لصافي التيار المنساق بوساطة المجس (I_P) بعد طرح تيار الإشباع الأيوني منه (I_i) . وبفرض أنّ (I_i) ثابت ، فانه لا يمكن الحصول على دالة التوزيع من المشتقة الثانية للكمية (I_e) بالنسبة للكمية (V_P) بل نحصل على دالة التوزيع من المشتقة الثانية للكمية (I_P) بالنسبة للكمية (V_P) ، ونشير هنا إلى أنّ (I_i) يؤخذ بالحسبان عند تعيين الحد الأعلى لمدى طاقة الإلكترون في دالة التوزيع التي يتم حسابها بهذه الطريقة . إنّ المشكلة الوحيدة في حساب دالة التوزيع تتعلق فقط بحسابات المشتقة الثانية للكمية (I_e) (أو (I_P)) بالنسبة للكمية (V_P) .

ب- طريقة تراكب إشارة الفولتية المتناوبة على التيارالكهربائي المستمر للمجس:

عند تراكب إشارة فولتية متناوبة $(e = A_a\ sin\omega t)$ على التيار الكهربائي المستمر للمجس يحدث تغير في تيار المجس مقداره $(\Delta I(t))$ ، ويعتمد $(I(t))$ على المشتقة الثانية والرابعة والمشتقات الزوجية العليا لتيار المجس بالنسبة إلى جهد انحيازه ، ولكي يتم إهمال المشتقات ذات الرتب العليا ، يتم استخدام سعة فولتية متناوبة (A_a)صغيرة جداً ولهذا فان التغير في تيار المجس سيكون بالصيغة الآتية [4] :

$$\Delta I(t)=\frac{A_a}{4}\ \frac{d^2 I}{dV_P^2} \qquad \ldots\ldots(2)$$

حيث أنّ $\left(\frac{d^2 I}{dV_P^2}\right)$ تمثل المشتقة الثانية لتيار المجس التي يمكن قياسها عند أية نقطة من منحني خواص التيار والفولتية للمجس عن طريق قياس التغير في التيار $(\Delta I(t))$ مباشرة مع المحافظة على السعة (A_a) ثابتة وصغيرة .ويتم حساب دالة التوزيع الطاقي للإلكترونات بعد ذلك باستخدام المعادلة(1) .

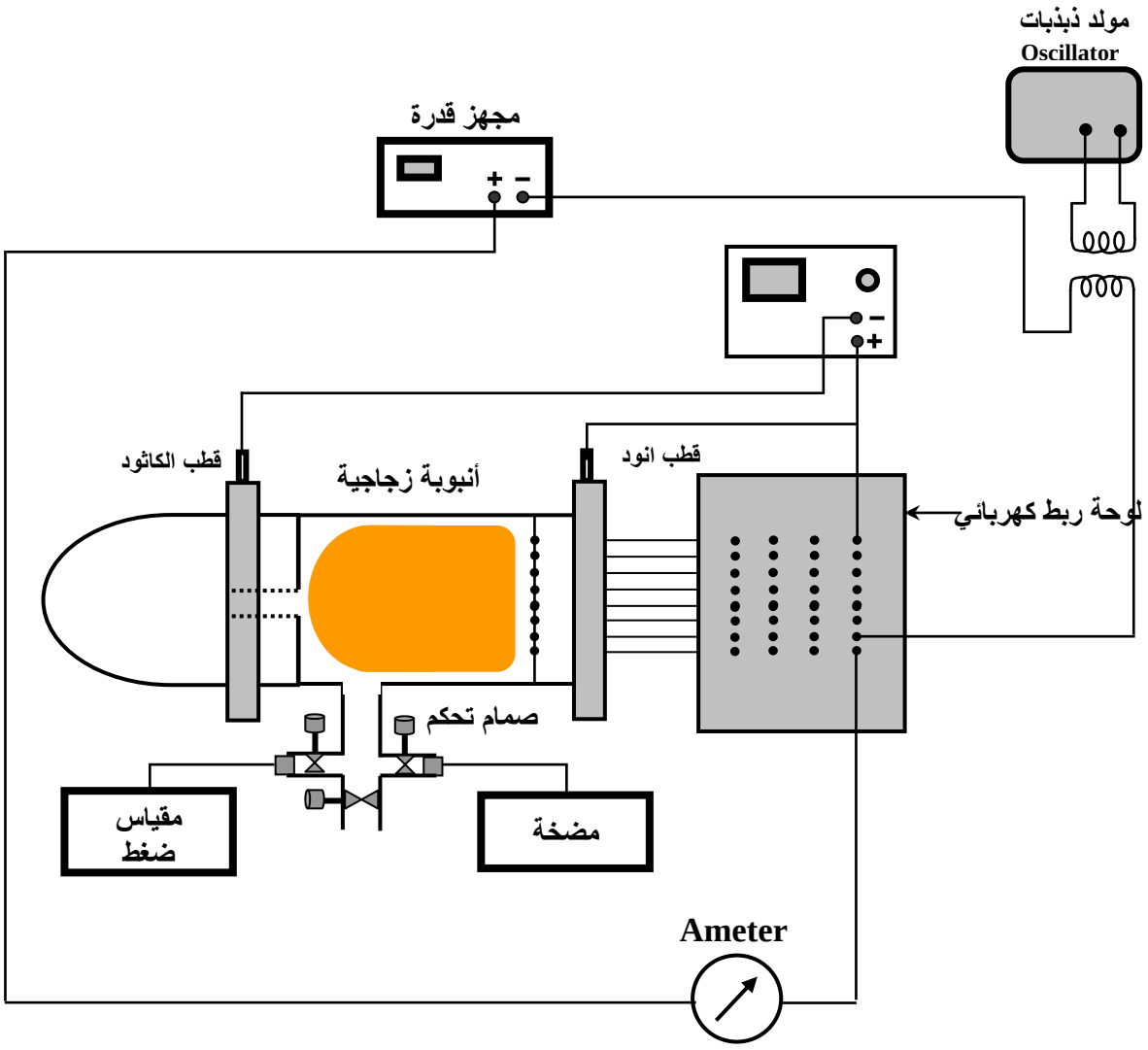
3. طريقة العمل:

تم إيجاد منحنيات خواص التيار والفولتية للمجسات الأربعة من خلال القياسات الخاصة بفولتية انحياز المجسات والتيار الناتج ومن ثم رسم هذه العلاقة التي تمثل منحني الخواص.

إن شكل دالة التوزيع الطاقي للإلكترونات حساس جداً إلى نوع التفريغ ومعالمه ولهذا تم اختيار قيمة واحدة لضغط التفريغ مقدارها(0.2Torr) لأن تأثيرات الطاقة الحركية عند الضغوط الواطئة تلعب دوراً رئيساً في تحديد خواص البلازما وقيمة واحدة لتيار التفريغ مقدارها 5 mA)DC) وفولتية انهيار مقدارها 2000 V)DC) لغرض توليد البلازما التوهجية في تجربة البحث. وتضمنت آلية البحث تصميم قطب أنود على شكل اسطواني ذي قاعدة دائرية يغطي كل عمود البلازما التوهجية في أنبوبة التفريغ وغرست على سطحه اربعة مجسات من نوع مجس لانكمورالمفرد تم

توزيعها بشكل حلزوني لأن هذا التوزيع يضمن عملية قياسات فضلى من مواقع متنوعة من عمود البلازما التوهجية في أنبوبة التفريغ الكهربائي.
ويبين الشكل (1) مخططاً لدائرة التراكب التي تم تصميمها .وهناك مشكلتان أساسيتان في طريقة تراكب إشارة الفولتية المتناوبة على التيار المستمر للمجس الكهربائي والخاصة بإيجاد دالة التوزيع الطاقي للإلكترونات هما :-
أولاً:- ازدياد الزمن المنقضي لقياس المشتقة الثانية للتيار والفولتية .
ثانياً:- تلوث المجس.

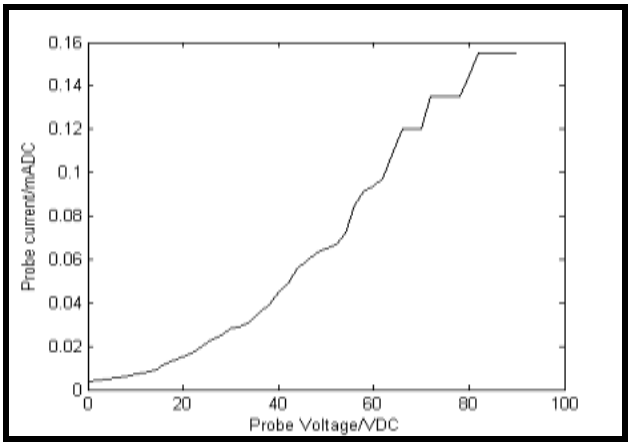
تم تقليل آثار المشكلة الأولى بالاعتماد على القياس اللحظي قدر الأمكان وإعادة عملية القياس عدة مرات للتأكد من القيمة المقاسة ،أو أخذ معدل القياسات التي تم تكرارها للقيمة المقاسة مع الفحص المستمر والتعيير المنظم لأجهزة قياس التياروالفولتية للتأكد من عدم وجود أشارة قياس خاطئة في جهاز القياس ،أما المشكلة الثانية فعولجت من خلال التنظيف الدائم للمجسات باستخدام الكحول وأوراق الصقل وتسليط فولتية أنحياز عكسية على المجس.



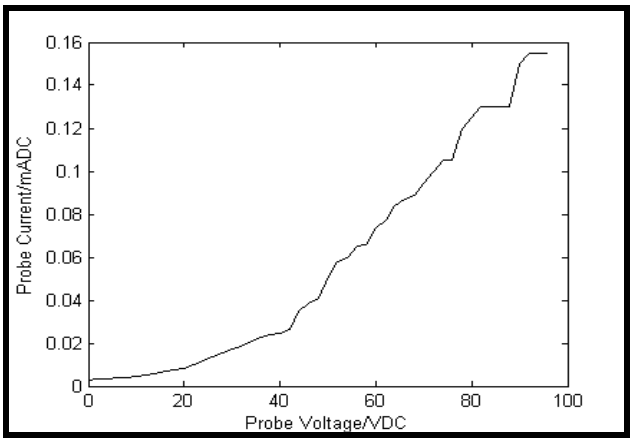
الشكل (1): مخطط لدائرة التراكب التي تم تصميمها و استخدامها

4. النتائج

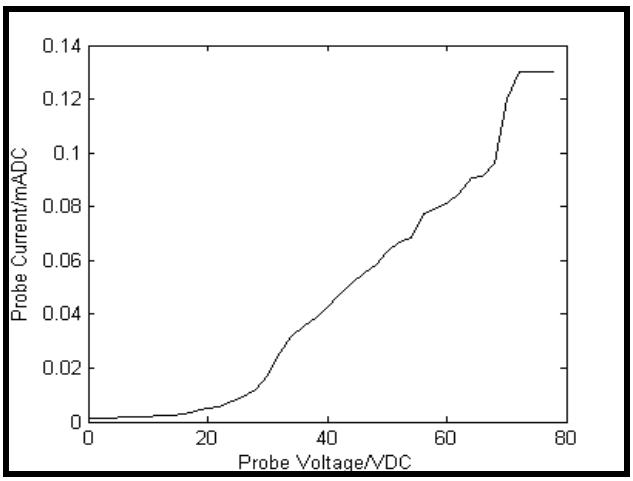
تم الحصول على النتائج الآتية لمنحني خواص التيار والفولتية للمجسات والمبينة في الأشكال من (2) إلى (5). ودالة التوزيع الطاقي للإلكترونات في منطقة هبوط الآنود بطريقة تراكب إشارة فولتية متناوبة ($V=0.4Sin\omega t$) ذات تردد (1080 Hz) على التيار الكهربائي المستمرللمجس وعند مجال مغناطيسي مقداره (B=0 Gauss) والمبينة في الأشكال من (6) إلى (9).



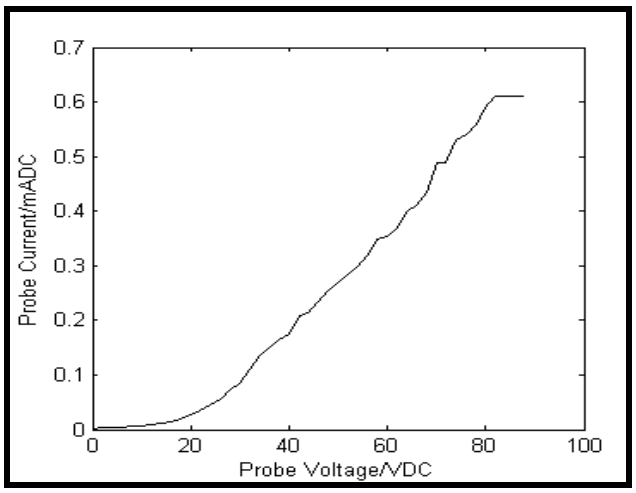
الشكل(2) :منحني خواص التيار والفولتية المقاس باستخدام المجس الأول



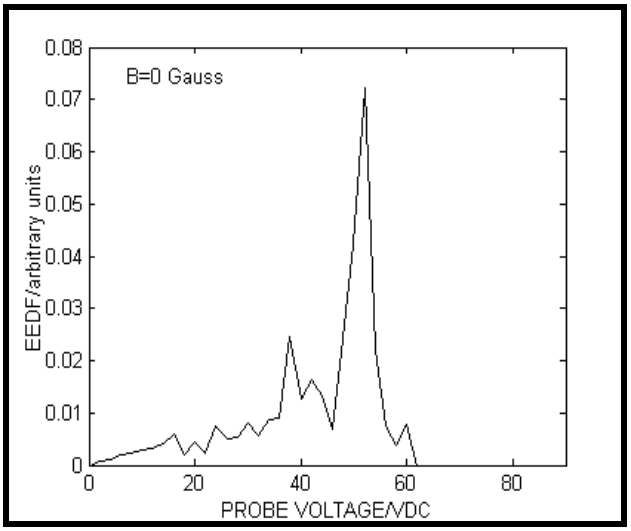
الشكل(3) :منحني خواص التيار والفولتية المقاس باستخدام المجس الثاني



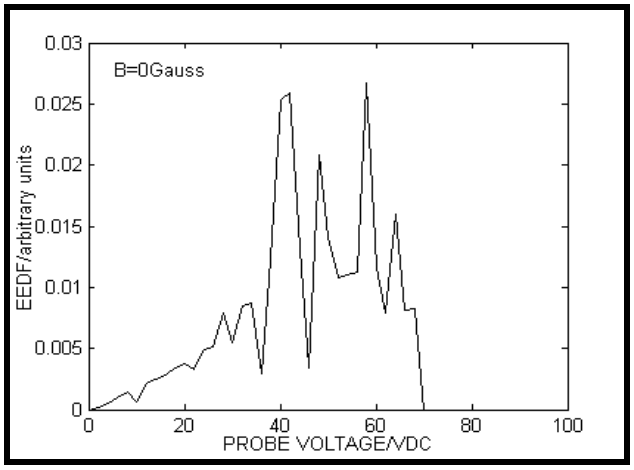
الشكل(4) :منحني خواص التيار والفولتية المقاس باستخدام المجس الثالث



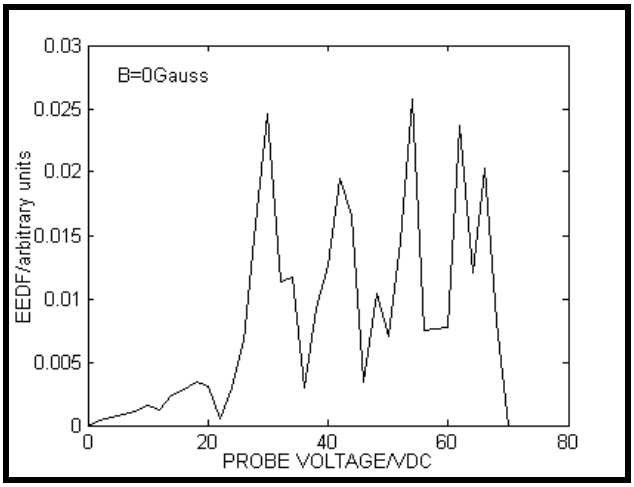
الشكل(5) : منحني خواص التيار والفولتية المقاس باستخدام المجس الرابع



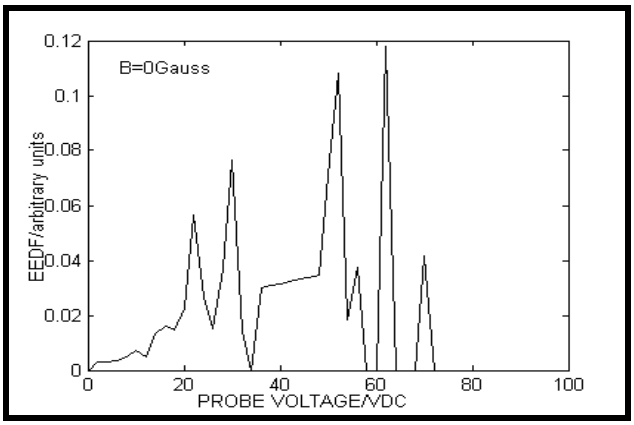
الشكل(6) : دالة التوزيع الطاقي للإلكترونات المقاسة باستخدام المجس الأول



الشكل(7) : دالة التوزيع الطاقي للإلكترونات المقاسة باستخدام المجس الثاني



الشكل(8) : دالة التوزيع الطاقي للإلكترونات المقاسة باستخدام المجس الثالث



الشكل(9) : دالة التوزيع الطاقي للإلكترونات المقاسة باستخدام المجس الرابع

5. المناقشة:

على الرغم من بساطة فكرة المجس المنفرد فان مقدرته على توفير معلومات عملية عن كل من كثافة ودرجة حرارة البلازما مهمة للغاية فضلاً عن ذلك فان هذا المجس يوفر طريقة عملية مناسبة لإيجاد دالة توزيع الالكترونات في بعض الحالات خصوصاً في حالة البلازما قليلة الكثافة (البلازما تحت ضغط منخفض) وعندما لا تكون دالة التوزيع هي دالة توزيع ماكسويل بل أي دالة أخرى حيث يمكن ومن خلال إيجاد التفاضل الثاني لتيار وفولتية منحني خواص المجس وعندما يكون في حالة تمكنه من جمع الالكترونات فقط والتي لها طاقات كافية تستطيع بها التغلب على الجهد في منطقة الالكترونات استخلاص شكل الدالة، لكن المشكلة هنا هي إيجاد قيمة هذا التفاضل عملياً من منحني الخواص بدقة جيدة بطرائق الرسم ولكن تم لهذا الغرض تطوير عدة طرائق عملية ومنها طريقة التراكب ويمكن القول بأنه وعلى الرغم من وجود بعض العيوب في هذه الطريقة فإنها قد نجحت إلى حد ما في استنتاج دالة التوزيع الطاقي للالكترونات في عملية التفريغ الكهربائي . ويتبين من عملية القياسات ان شكل دالة التوزيع الناتجة غيرماكسويلية بالمقارنة مع الشكل الماكسويلي المألوف.

إن المشكلة الأساسية في قياسات دالة التوزيع الطاقي للالكترونات تكمن في دقة قياس المشتقة الثانية تجريبياً وذلك لكون البلازما نفسها تعد أحد مصادر الضوضاء ولهذا فان التيار المتجمع بوساطة المجس يحتوي على ضوضاء ذاتية[8] ، وتتضاعف هذه الضوضاء في الخصائص المقاسة تجريبياً للتيار والفولتية عن طريق عملية الاشتقاق . ان خواص المجس التي توفر معلومات حول دالة التوزيع الطاقي للإلكترونات يجب أن تأخذ بالحسبان الفرضيات الآتية:

1. أن يكون سمك الغمد صغيرا بالمقارنة مع معدل المسار الحر للالكترونات.
2. أن لا يحدث أي انبعاث من المجس .
3. أن تكون البلازما متناظرة في خواصها [7] .

إن دالة التوزيع الطاقي للإلكترونات مبنية على تأثير التوازن لكسب الطاقة من المجال وخسارتها في التصادم ويمكن كتابة دالة التوزيع الطاقي للإلكترونات المحسوبة مع دالة التوزيع الطاقي للإلكترونات الماكسويلية( ) F_M بالعلاقة الآتية [6] :-

$$F_M = 2.07\, W_{av}\, (W)^{1/2}\, EXP(-\,(1.5W/W_{av}))$$

حيث أن ($W_{av} = (3/2)T_e$) هي معدل الطاقة الحركية للإلكترونات، و (T_e) هي درجة حرارة الإلكترونات و ($W=-eV$) هي الطاقة الحركية للإلكترونات .

ومن هنا نلاحظ أن دالة التوزيع الطاقي للإلكترونات تعتمد على درجة حرارة الإلكترونات (T_e) وعلى الطاقة الحركية للإلكترونات فإذا امتلكت مجاميع الإلكترونات درجات حرارة مختلفة فان الدالة تنحرف عن التوزيع الماكسويلي إلى التوزيع اللاماكسويلي كما ان زمن الاكتساب الحراري بين مجموعات الالكترونات يكون أطول من الزمن المطلوب لمغادرة منطقة هبوط الآنود، نتيجةً لذلك فأن الالكترونات لا تمتلك زمن إعادة التوزيع نفسه في المجموعة الماكسويلية الواحدة كما أن بعض الالكترونات تصل إلى منطقة هبوط الآنود قبل امتلاكها فرص كافية لعمل عدد كاف من التصادمات للوصول إلى التوزيع الماكسويلي. ولأن تجربة البحث نفذت عند ضغط تفريغ مقداره(0.2Torr)، فأن تأثيرات الطاقة الحركية عند الضغوط الواطئة(أي عندما يكون طول مسار الإلكترون قابل للمقارنة مع حجم التفريغ) تلعب دوراً رئيساً في تحديد خواص البلازما وينتج عن ذلك ايضا دالة توزيع طاقي للإلكترونات لاماكسويلية.

إن ظهور القمم المميزة للالكترونات البطيئة في طيف دالة التوزيع المقاسة يعطي دليلاً على وجود ابار للجهد وتؤدي هذه الابار إلى ظهور مجالات سالبة في جوار الانود .

6. الاستنتاجات:

أثبتت القياسات الخاصة بمنحني خواص التيار والفولتية للمجسات ومن ثم استخلاص دالة التوزيع الطاقي للإلكترونات منه في منطقة هبوط الانود بطريقة تراكب إشارة الفولتية المتناوبة على التيار الكهربائي المستمر للمجس أن شكل دالة التوزيع الناتجة لاماكسويليا وسبب ذلك يعود إلى وجود مجموعتين من الالكترونات تمتلك درجات حرارة مختلفة ويمكن القول بأنه وعلى الرغم من وجود بعض العيوب في هذه الطريقة فإنها قد نجحت إلى حد ما في استنتاج دالة التوزيع الطاقي للالكترونات في عملية التفريغ الكهربائي.

المصادر:

1. AL-Hawat S.H, Naddaf M,(2005), Electron Energy Distribution Function in The Positive Column of ANeon Glow Discharge Using the Black Wall Approximation, J.Phys. D: Appl.Phys., 38: 1156-1163
2. Bricha E.C.I,Graham W.G,Morrow T,Steen P.G,Thompson C.E,(2003), Analysis Procedure for Calculation of Electron Energy Distribution Functions from Incoherent Thompson Scattering Spectra,J.Appl.Phys.,94(1):110-114.
3. Andrei H,Covlea V, Covlea V.V,Barna E,(2003),The Smoothing and Digital Processing of Langmuir Probe Characteristic, Romanian Rep. In Phys.,55(2):51-56.
4. Elakshar F.F,Hassouba M.A,Garamoon A.A,(2000),Measurements of The Electron Energy Distribution Function in Two Different Regions of DC-Magnetron Sputtering Device,FIZIKA.A,9(4):177-186
5. Donne A.J.H,(2004),Introduction to Plasma Diagnostics,6th Carolus Magnus Euro Summer School on Plasma Physics,Brussels,Belgium, pp:1-8.
6. Grill A,(1993), Cold Plasma in Material Fabrication from Fundamental to Application,IEEE,NewYork,USA.
7. Trunce D,(1992), The Numerical Differentiation of Probe Characteristic ,Cotrib.Plasma Phys.32(523):24.
8. Dilecce G, Capitelli M,Debendictis S,(1991), Electron Energy Distribution Function Measurements in Capacitively Coupled rf Discharge ,J.Appl.Phys.,69(1):121-129.
9. Howatson A.M,(1976),Introduction to Gas Discharges,2nd ed.,Pergamon Press Ltd.,UK.
10. Mitchner M,Kruger C.H,(1973),Partially Ionized Gases ,John Wiley and Sons,USA.
11. Loeb L.B,(1955),Basic Processes of Gaseous Electronics,California11.

Measurement of The Electrons Energy Distribution Function For Air Plasma in Anode Fall Region By Using Superimposed Method

Ata U. Hasaaan[1] and Nadeem K. Hassan[2]

[1] *North Refinery Company, Beiji, Iraq*
[2] *Department of Physics, College of Education, University of Tikrit, Tikrit, Iraq*

Abstract:

In this work, I-V Characteristics and the electrons energy distribution function for air plasma in the anode fall region is measured by using the superimposed of an A.C signal over the D.C probe bias voltage method. Results proved that shape of experimental distribution function was non maxwellian where two groups of electrons were detected. This electrons have a chance to thermalize themselves due to the long plasma lifetime in this region.