



محاضرات في

التشخيص بمجس اللانجمير

**Lecture Notes on**

***Langmuir Probe Diagnostics***

ترجمة

المركز العلمي للترجمة

[www.trgma.com](http://www.trgma.com)

25-2-2009



## مقدمة

يعتبر مجس اللانجمير أسهل وسيلة لقياس وتحديد خصائص البلازما، فمجس اللانجمير يعمل من خلال وضع سلك في وسط البلازما لقياس التيار الكهربائي عند تطبيق فرق جهد عليه. ولكن، مجس اللانجمير يعتبر وسيلة تتدخل في خصائص البلازما لأنها ليست طريقة قياس عن بعد فالسلك يجب أن يصمم بعناية فائقة حتى لا يؤثر على خصائص البلازما ويغير فيها. ومن الممكن أن يؤدي ذلك إلى صعوبة في تفسير منحنيات التيار الكهربائي والجهد الكهربائي (منحنيات I, V) وهذا أدى إلى الكثير من الأبحاث العلمية التي تحتوي على نظريات تفسر هذه المنحنيات. وفي محاضرة مختصرة لا يمكن أن نناقش كل هذه التفاصيل. مواضيع متخصصة متعلقة بالتشخيص الكهروستاتيكي مثل المجسات الإشعاعية emissive probe والمجسات المزدوجة double probes، ومجسات السعة capacitive probes، والمجسات التذبذبية oscillation probes والمجسات الخاصة بالبلازما ذات الضغط المرتفع ومجسات المجال المغناطيسي يمكن أن نشرحها باختصار. ومن ناحية أخرى فإن أكثر المجسات المستخدمة في هذا المجال هو مجس اللانجمير حيث يستخدم مصدر RF لإنتاج البلازما المستخدمة في عمل الشرائح الرقيقة بتقنية الانتزاع etching أو الترسيب deposition. البلازما المتأينة جزئياً تتطلب تقنيات خاصة في المجس وسوف نقوم بالتركيز على شرح التشخيص باستخدام مجس اللانجمير.

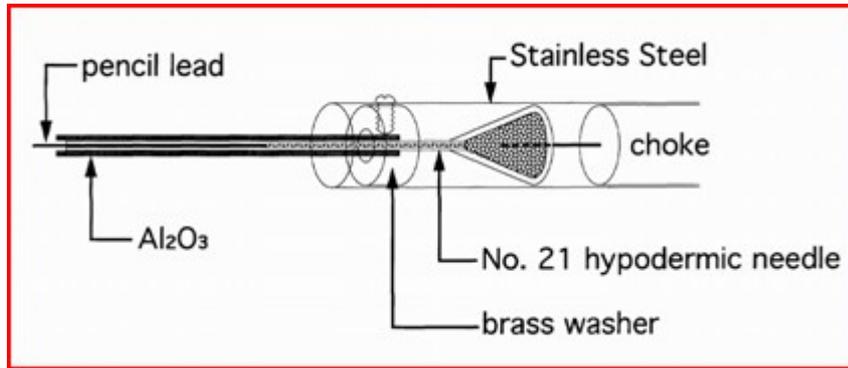
## II تصميم المجس ودائرتة الكهربائية للعمل في نطاق RF

### A تركيب المجس Probe construction

حيث إن المجس سوف يغمر في وسط البلازما والذي يعد وسط ذو طبيعة قاسية فان تقنيات خاصة لابد وان تستخدم لحماية المجس من تأثير البلازما عليه والعكس بالعكس، وللتأكد من إن الدائرة الكهربائية سوف تعطي القياسات الدقيقة للعلاقة بين التيار الكهربائي والجهد. فان طرف المجس يصنع من مادة ذات تحمل كبير لدرجات الحرارة العالية. وغالبا ما تكون من مادة التنجستين بقطر يتراوح بين 0.1 إلى 1 ملليمتر. ويتم وضعه في أنبوبة رفيعة من مادة سيراميكية هي الالومينا لعزلها عن البلازما ماعدا طرف المجس والذي يتراوح طوله بين 2 إلى 10 ملليمتر. هذه المواد من الممكن أن تتعرض إلى درجة حرارة البلازما في المختبر بدون أن يحدث لها ذوبان أو تبخر. ولتجنب إحداث أي خلل للبلازما، فإن قطر الأنبوبة



السيراميكية يجب أن يكون اقل ما يمكن ويفضل أن يكون اقل من 1 ملليمتر، ولكن عمليا قد يكون اكبر من ذلك بمرات. أما بالنسبة لطرف المجس فانه يجب أن يكون في وسط الأنبوبة ويخرج منها بدون أن يلمسها، حتى لا يكون هناك أي اتصال كهربائي بين المجس والمواد الموصلة التي من الممكن أن تترسب على الأنبوبة المعزولة. يتم احتواء الأنبوبة في حاوية على شكل أنبوبة مفرغة من الهواء من مادة الاستانلس ستيل stainless steel أو الزجاج يصل قطرها الخارجي إلى 1/4 أنش. وهنا يجب أن يتم غلق الأنبوبة بعد تفرغها من الهواء من الطرف الخارجي للمجس وليس من عند الطرف الذي سيدخل في البلازما، لأنه قد يحدث تسريب. والطريقة المثالية لاستخدام المجس هي إدخال الجزء السيراميكي فقط إلى البلازما. بعض الشركات تنتج مجسات لانجمير مستخدمة أنبوبة مصنوعة من معدن بسمك اكبر لتدعم طرف المجس وهذا من الممكن ان يعدل في خصائص البلازما إلا إذا كانت كثافة البلازما عند مستويات منخفضة. في حالة البلازما ذات الكثافة العالية فان المسح لا يتحمل درجة حرارة البلازما إلا في حالة البلازما النبضية pulsed plasma أو أن يتم إدخال وإخراج البلازما في فترات زمنية اقل من ثانية. وعند تجميع التيار الأيوني، فان المجس يتآكل بواسطة عملية الانتزاع sputtering، وهذا يغير طرف المجس الذي يقوم بجمع البيانات. يمكن التقليل من حدوث هذا الأمر عن طريق استخدام مادة الكربون لطرف المجس. عادة قلم الرصاص قطره 0.3mm يعمل بشكل أفضل إذا دعم بإبرة في وسطه مصنوعة من مادة hypodermic داخل أنبوبة عازلة من السيراميك. الشكل 8 يوضح تطبيق عملي لاستخدام المجس.

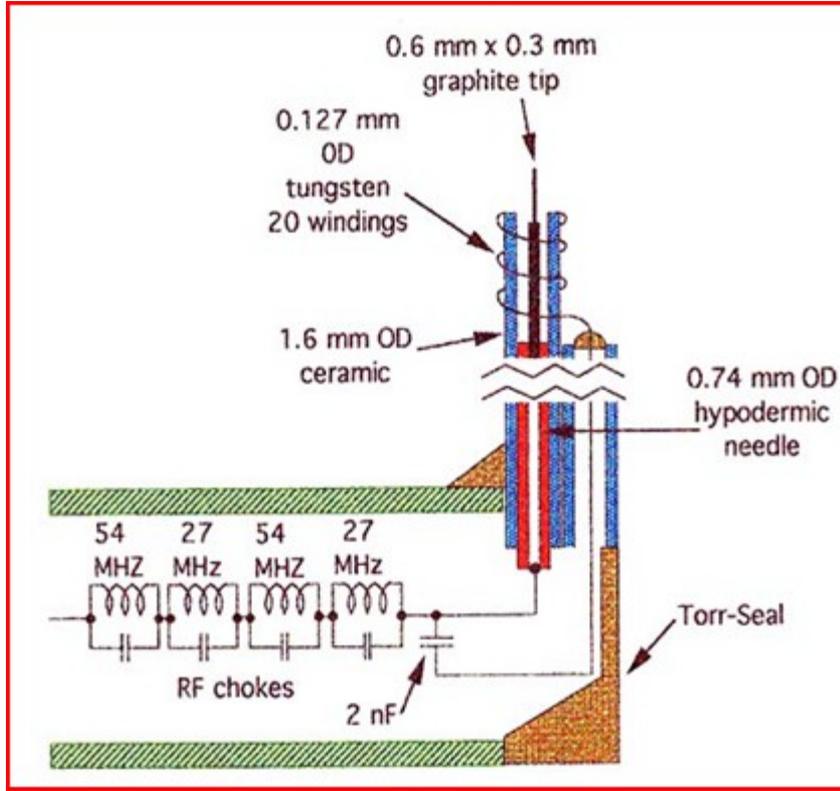


الشكل 8 يوضح طرف مجس من الكربون موصول بدائرة RF

من الأمثلة على المجس قائم الزاوية موضح في الشكل 9، ومن الشركات التي تباع المجسات شركة Hiden Analytical and Scientific Systems بالإضافة إلى شركات أخرى. والمجس المنتج بواسطة شركة Hiden Analytical and Scientific Systems موضح في الشكل 10. ومن ميزات

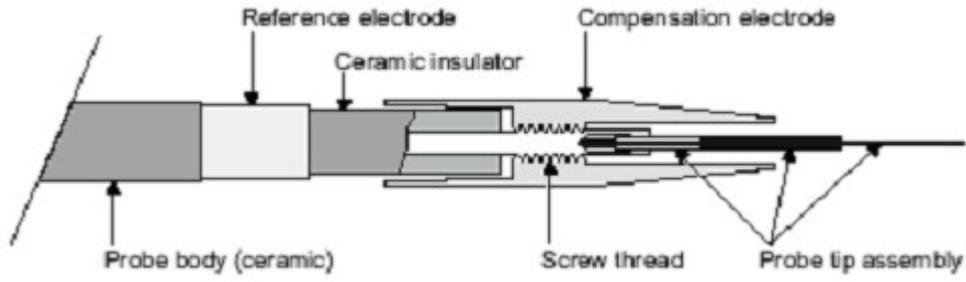


هذا المجس انه يمكن تغيير طرف المجس واستبداله وانه مثبت جيدا في الوسط تماما (سيتم وصفه أكثر لاحقا).

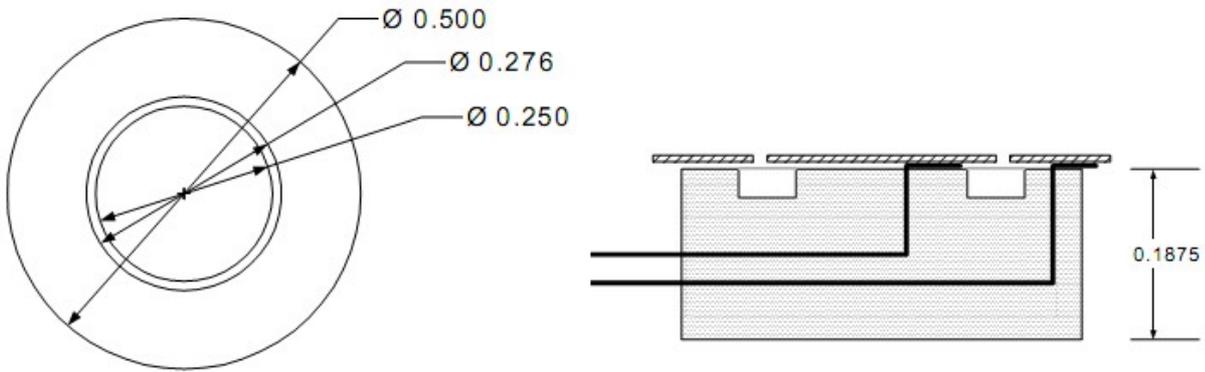


الشكل 9 يوضح مجس عمودي بـ rf لـ 27MHz

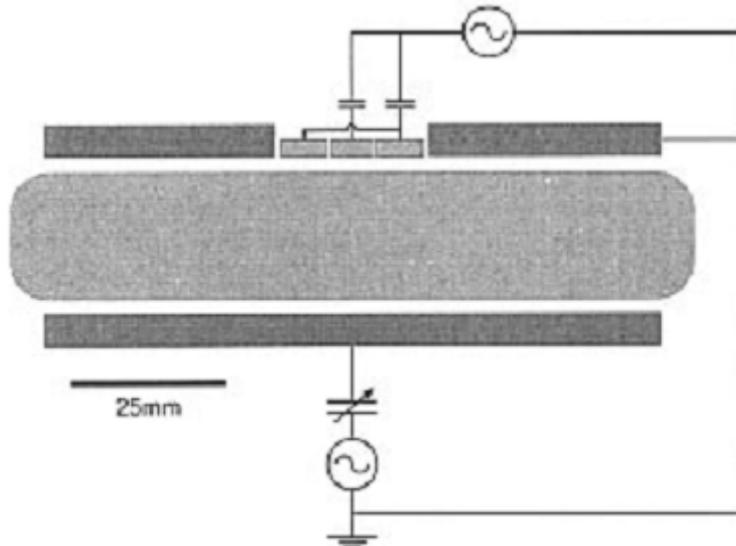
المجس المسطح يبدو ابسط، حيث يقوم بسحب التيار بدون أن يؤثر العازل على قطبية المجس. ولكن التيار الكهربائي يجب أن يأتي من مكان آخر. ولكي لا يؤثر المجس على البلازما، فإن السطح الذي يسحب التيار الكهربائي يجب أن يكون أكبر من سطح المجس. وفي هذه الحالة فإن المجس يبدو كمجس كروي، والتيار لا يمكن أن يصل لمرحلة التشبع. والتأثير على البلازما بواسطة المجس يقل إذا كان المجس المسطح جزء من العازل الخارجي ولكن هذا سوف يؤدي إلى تغيير قطبية طرف المجس. ولجعل المجس المسطح أفضل يضاف له حلقة حماية، لها نفس قطبية المجس  $V_p$ . وهنا فإن التيار الواصل للمجس المسطح والجدار سوف يقاس فقط بدون التيار الواصل لحلقة الحماية.



الشكل 10 يوضح تركيب طرف المجس في نظام Hiden



شكل يوضح مجس محاط بحلقة حماية

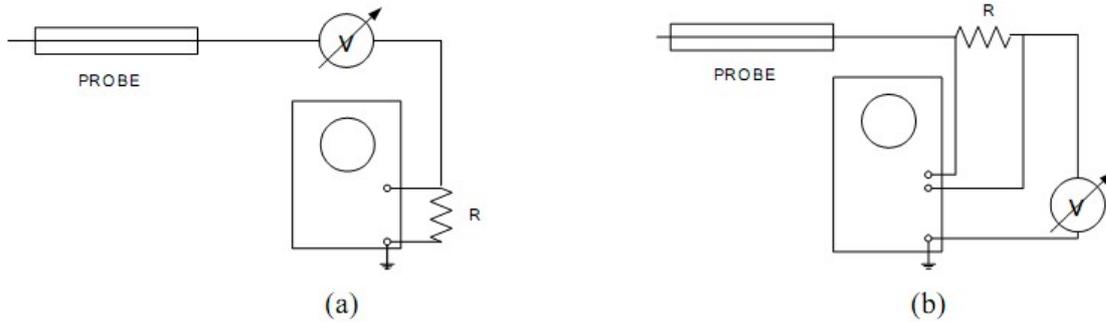


شكل 11 يوضح مجس محاط بحلقة حماية موصل بدائرة متصلة بالكترود ارضي



## B دائرة المجس Probe circuits

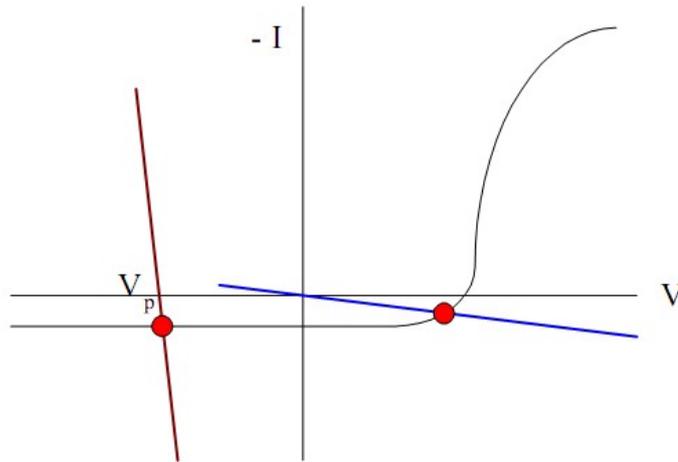
هناك طريقتين أساسيتين لتطبيق فرق جهد كهربي  $V$  على المجس لقياس التيار الكهربي  $I$  الذي تنتجه البلازما، ولكل طريقة بعض المساوئ. في الشكل a12 يتم توصيل طرف المجس الموجود في داخل أنبوبة مفرغة ببطارية ذات فرق جهد متغير وتوصل بمقاومة  $R$  إلى الأرضي. ولقياس تيار المجس يتم قياس فرق الجهد على طرفي المقاومة  $R$  وتعرض على جهاز راسم الذبذبات oscilloscope. هذه الطريقة لها ميزة وهي إن المقاومة متصلة بالأرضي وهذا يمنع تعرض الدائرة لإشارات كهربية خارجية. وحيث أن المقاومة تكون في حدود بين 10 إلى 1000 أوم وفي الأغلب تكون قيمة المقاومة 50 أوم، فإن مشكلة التقاط إشارات كهربية خارجية لا تعد مشكلة هنا. على أي حال، من أهم عيوب هذه الطريقة هو إن البطارية المستخدمة لا يمكن أن نحصل منها على مدى كبير من تغيرات في فرق الجهد إذا كانت صغيرة. وإذا استخدم مزود فرق جهد كبير فإن السعة capacitance مع الأرض سوف تكون كبيرة بما يجعل الإشارة المترددة تتسرب إلى الأرض، ولا يستطيع المجس أن يلتقطها. كذلك يعمل مزود فرق الجهد عمل الانتينا وقد يلتقط إشارات خارجية. ولتجنب هذه الأمور فإن توصيل مزود فرق الجهد بالأرضي واستخدام مقاومة كما في الشكل 12 b. وهذا يتم عن استخدام مزود للجهد الكهربي يغير قيمته بطريقة منتظمة sweep voltage. ولكن، فرق الجهد المطبق على طرفي المقاومة  $R$  يجب أن يقاس بواسطة differential amplifier أو بواسطة floating device، أو نقله عن طريق الالكترونات الضوئية إلى الدائرة الكهربية. من الممكن الحصول على معدات تستخدم محولات الإشارات التناظرية إلى الرقمية لتسجيل ورصد فرق الجهد على طرفي المقاومة  $R$ . وجهد المجس  $V_p$  يقاس على جهة المقاومة  $R$  المتصلة بالأرض حتى لا يتم تحميل المجس أي سعة كهربية مفقودة stray capacitance.



شكل 12 يوضح الدائرة الأساسية للمجس



ولقياس جهد البلازما بواسطة مجس اللانجمير، يتم توصيل احد طرفي المجس بمعاوقة impedance كبيرة، مثل  $1M\Omega$  كمقاومة لجهاز راسم الذبذبات. وهذا يدعى بالمجس العائم floating probe. يمكن استخدام مقاومة صغيرة مثل  $100K\Omega$ ، لتقليل الإشارات الملتقطة. واقل قيمة للمقاومة R يجب أن تكون كافية لكي يكون النقصان في إشارة IR لا يغير في قيمة فرق الجهد المقاس. وبحكم التجربة العملية فان التيار الأيوني المتشبع  $I_{sat}$  عن المقاومة R يجب أن يكون اكبر كثيرا من  $T_{eV}$ ، أو  $R \gg T_{eV}/I_{sat}$ . فرق الجهد المقاس ليس هو جهد البلازما ولكن هو الجهد العائم floating potential. وكلما كانت R كبيرة فان الاستجابة للترددات يكون أصعب لوجود ثابت الزمن RC time constant للسعة الكهربائية المفقودة stray capacitance. من الممكن تحسين الاستجابة للترددات بواسطة طريقة capacitance neutralization، ولكن هذا يجعل من الصعب أن يستجيب المجس العائم لترددات rf. ومن الخبرة العملية التي سبق وان تحدثنا عنها فإنها تأتي من الدائرة الموضحة في الشكل 13، حيث خط التحميل في نهاية المقاومة موضح مع خصائص المجس. الخط على اليسار هو للمقاومة الصغيرة المستخدمة لقياس التيار، ميلها تقريبا رأسي، حيث التقاطع الموضح مع منحنى I و V يعطي التيار عند نقطة قريبة من  $V_p$ . لاحظ ان  $I_e = -I$  مرسوم رأسيًا، بحيث يجعل خط التحميل ذو ميل سالب. أما الخط على اليمين فيمثل المقاومة الكبيرة المستخدمة لقياس الجهد العائم floating potential. تقاطعه مع منحنى I و V قريب من  $V_f$ . وحيث ان منحنى I و V يتغير حول  $I_{sat}$  عند مدى الجهد حول  $T_{eV}$ ، فان المعاوقة المكافئة تكون  $T_{eV}/I_{sat}$ . تقريبا، فان R يجب أن تكون اكبر كثيرا من هذه القيمة لقياس  $V_f$ .

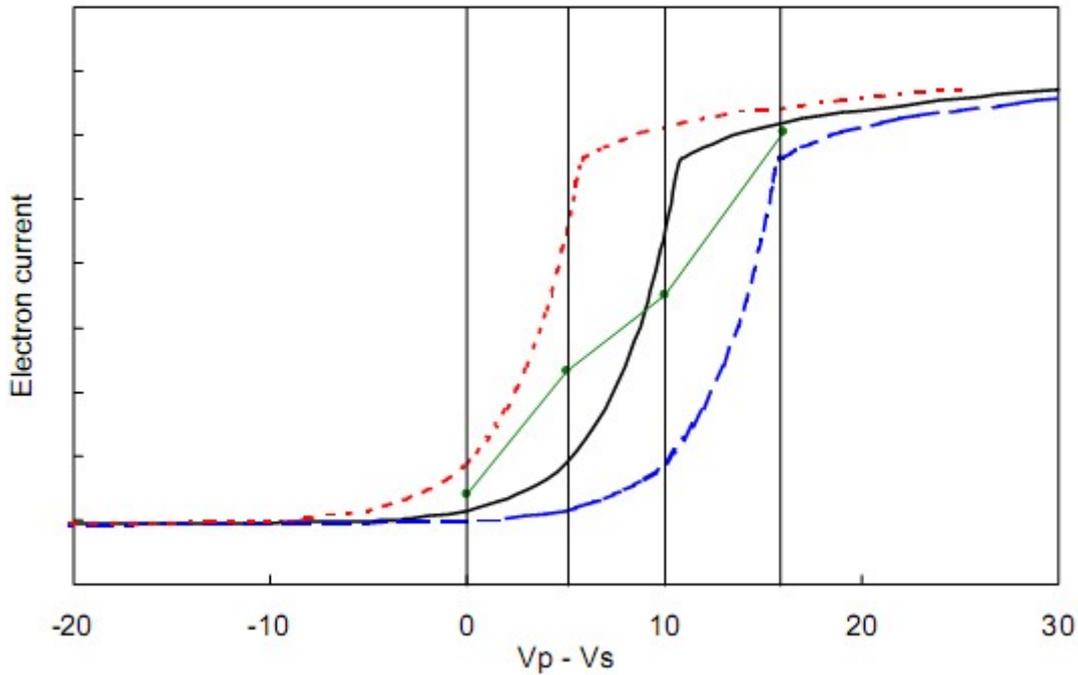


شكل 13 يوضح نقاط التشغيل للمجس القطبي والمجس العائم

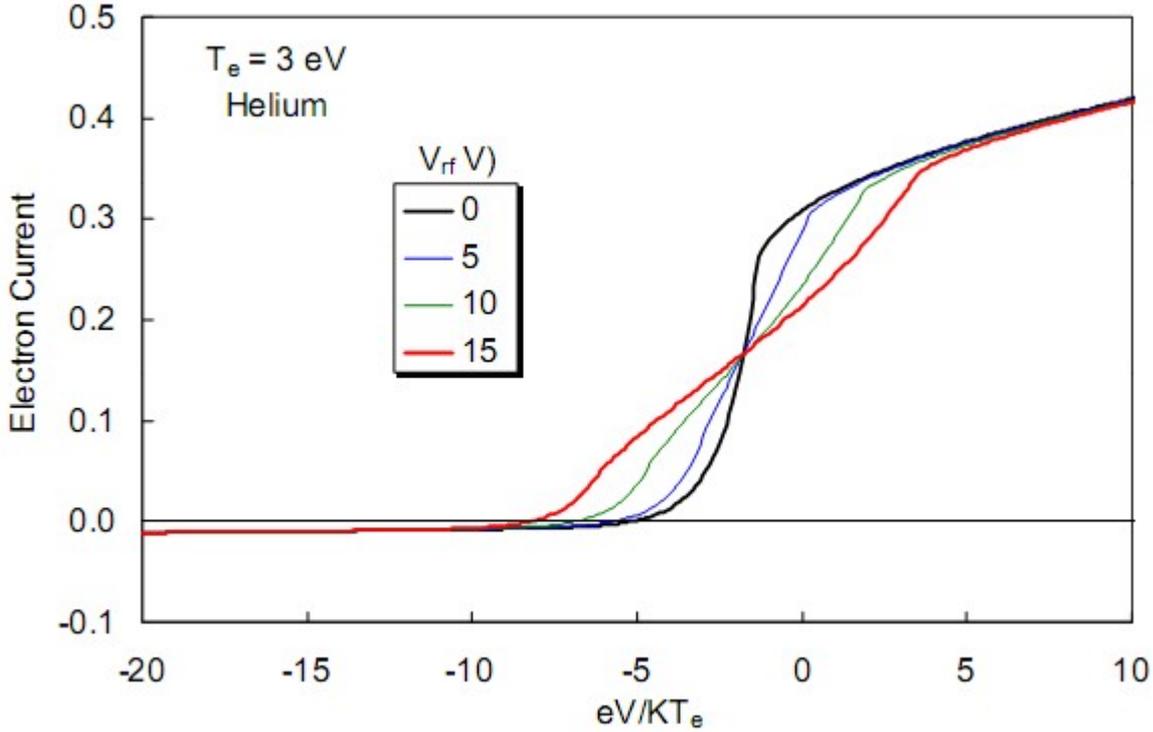


## C تعويض الـ في مجس لانجمير RF compensation RF

مجسات لانجمير تستخدم مع مصادر بلازما rf معرضة لالتقاط إشارات rf والتي بالتأكيد تسبب تشويه في منحنيات خصائص I و V وتعطي نتائج خاطئة. مصادر ECR التي تعمل في نطاق الميكروويف لا تعاني من هذه المشكلة لأن التردد المستخدم هنا كبير ويمكن فصله نهائياً عن الدائرة، والتيار المقاس يشبه تمام تيار تفرغ الـ DC. ولكن في حالة بلازما rf، فإن الجهد الكهربائي يتذبذب بطريقة تجعل الدائرة الكهربائية تستجيب له بطريقة خاطئة والمشكلة تكمن في أن خصائص I و V لا تكون خطية linear. الجهد V هو في الحقيقة فرق الجهد  $V_p - V_s$ ، حيث  $V_p$  هو الجهد المستمر المطبق على المجس و  $V_s$  هو الجهد المتذبذب عند تردد rf ومرافقاته harmonics. إذا قمنا بإزاحة منحنى I و V أفقياً للأمام والخلف حول مركز القيمة  $V_0$ ، فإن متوسط التيار الكهربائي المقاس سوف لا يكون  $I(V_0)$ ، لأن I تتغير بدالة أسية في منطقة الانتقال وكذلك يتغير الميل بسرعة عند دخول الأيونات والالكترونات منطقة التشبع. هذا التأثير يجعل منحنى I و V أكثر اتساعاً، ويؤدي إلى تقدير خاطئ لقيمة  $T_e$  وإزاحة الجهد العائم floating potential  $V_f$  إلى أكثر قيمة سالبة. وهذا موضح في الشكل 14 و 15



الشكل 14 يوضح المنحنى المركزي هو منحنى I و V الصحيح. المنحنى الشرطي (الأزرق) هو مزاح بمقدار  $\pm 5V$ ، ويمثل التغير في  $V_s$ ، عند الخط العمودي، متوسط  $I_e$  بين المنحنيين المزاحين موضح بالمنحنى المنقط (الأحمر). الخط بين المنحنى المنقط هو متوسط الزمن لمنحنى I و V المتوقع ملاحظته، ويختلف كثيراً عن المنحنى الصحيح.



الشكل 15 يوضح منحنيات التيار والجهد المحسوبة لـ  $V_s$  يتذبذب بدالة جيبيية وبسعات مختلفة.

## F اختبار وفحص نظريات اللاتصادم Tests of collisionless theories

### (1) البلازما المتأينة بالكامل Fully ionized plasmas

الفحص الأول باستخدام نظرية BRL تم تطبيقه في ماكينة Q على بلازما البوتاسيوم المؤينة بالكامل عند درجة حرارة 2300K، بواسطة Chen وآخرين (21). حيث كان هناك مجال مغناطيسي كبير فكانت أنصاف أقطار لامور Lamor لا يونات كبيرة كفاية لجعل التيار الكهربائي لا يتأثر بها. كلا من المجسات الاسطوانية والكروية استخدمت.

### (2) بلازما rf ذات الكثافة العالية High density rf plasmas

الحالة هنا مختلفة تمام عن البلازما rf المؤينة جزئياً. في الشكل 31 تم تحديد أربع منحنيات للمجسات في أنبوبة تفريغ rf بكثافات مختلفة، أي لها  $\bar{c}_p$  مختلفة. كل واحدة حلت بواسطة نظرية OML ونظرية BRL ونظرية ABR. أما كثافة Hiden فقد قدرت على أن تكون  $KT_e$ . وهنا نجد إن نظرية ABR



تعطي كثافة منخفضة جداً، ونظرية BRL تعطي كثافة عالية جداً، ما عدا عند الكثافات القليلة. حيث BRL تؤول إلى OML، كما هو موضح في الشكل 32 فإن  $I_2$  يتغير خطياً مع  $V_p$  عند كثافة عالية، وكلا من OML و ABR تنتفان في قيمة الميل، مع العلم إننا افترضنا قيمة مختلفة لـ  $n$ . نظرية BRL تتوقع منحنيات مشبعة أكثر. بإجراء مقارنة بين النظريات موضح في الشكل 33. حيث  $n$  تتغير بزيادة طاقة المفرغة الكهربائية. لوحظ إن BRL تتوقع كثافة كبيرة جداً و ABR تتوقع كثافة منخفضة جداً، والاختلاف يصل إلى 3 أضعاف. وبالصدفة نجد المعنى الهندسي يتفق مع القيمة الصحيحة للكثافة كما تم تحديدها بواسطة الميكروويف.

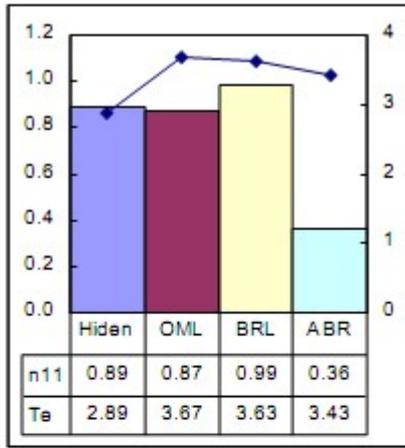


Fig. 15a:  $\xi = 1.1$

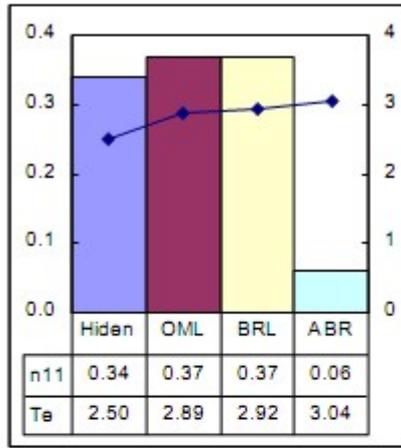


Fig. 15b:  $\xi = 3.1$

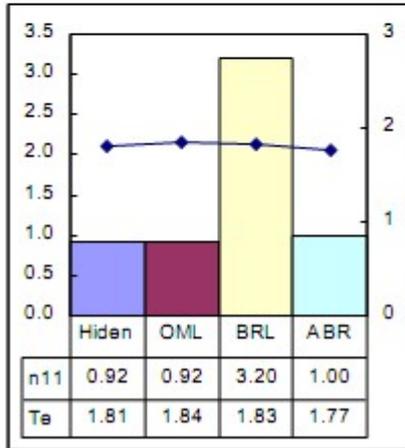


Fig. 15c:  $\xi = 4.6$

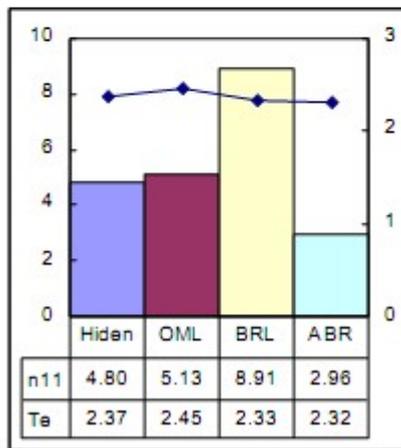


Fig. 15d:  $\xi = 9.1$

Fig. 31. Densities (bars, left scale) and  $T_e$ 's (points, right scale) obtained with various theories from the same probe curves in four discharges with varying  $\xi_p$  [Ref. 9].

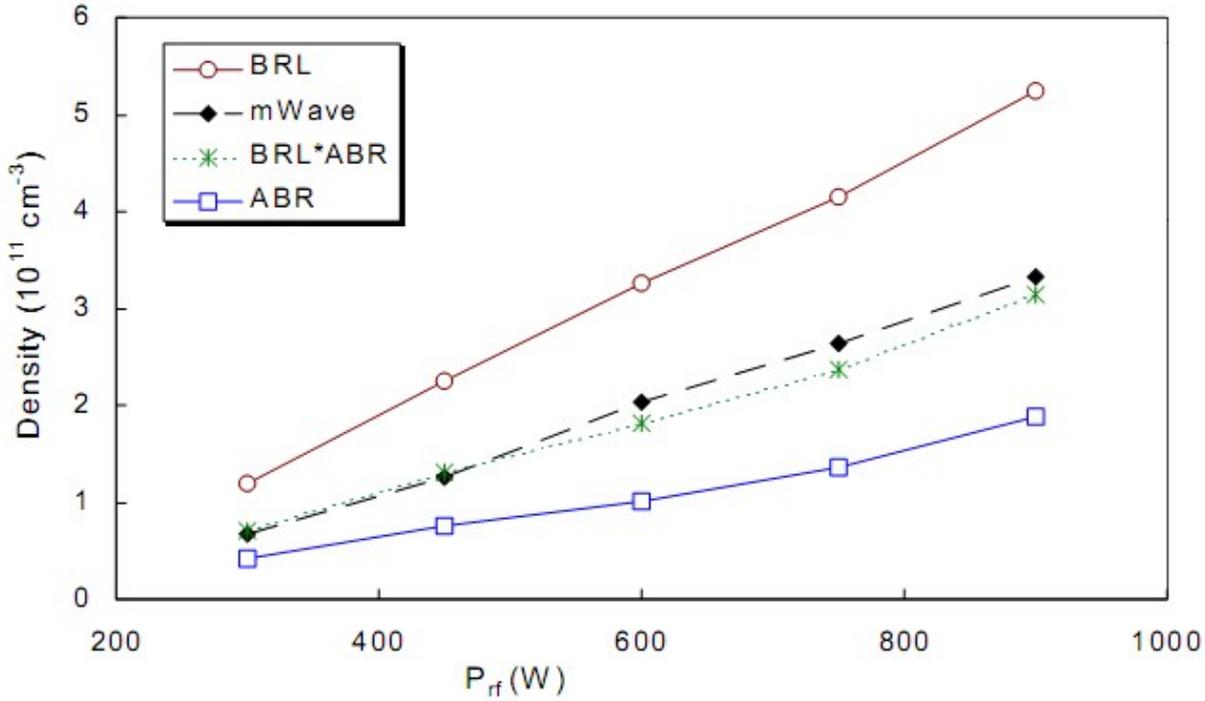


Fig. 33. Comparison of ABR and BRL densities with  $n$  measured by microwave interferometry. The dashed line is the geometric mean between the ABR and BRL densities [Ref. 9].

## V. SPECIAL TECHNIQUES

### طرق وتقنيات خاصة

#### A المجسات المزدوجة والساخنة Double probes and hot probes

عندما تتذبذب  $V_s$  ببطء، يمكن أن نستخدم المجس المزدوج، بحيث نضع مجسين متماثلين في البلازما بجوار بعضهما البعض، التيار من مجس إلى الآخر يقاس كدالة في فرق الجهد بينهما (c.f. Chen, loc.). خصائص  $I$  و  $V$  متماثلة ومحدودة في المنطقة بين  $I_{sat}$  لكل مجس. إذا كان المجس يتحرك للأعلى والأسفل مع تردد  $rf$  فإن منحنى  $I$  و  $V$  يجب أن لا يتأثر بأي تشويش. ولكن من المستحيل أن نتمكن من أن نجعل المجسين يتذبذبا عند تردد  $rf$  لأن هناك كمية كبيرة من السعة تتسرب إلى الأرض. وكذلك يصعب الحصول على نفس المعاوقة في كل مجس. ومع ذلك كثير من البلازما الصناعية لا تتصل مع



الكتروود الأرضي، وهنا يجب استخدام المجس المزدوج، وينجح أحيانا. أما المجس الحار فهو عبارة عن فتيلة صغيرة تطلق الكتروونات بتسخينها. هذه الالكترونات، تمتلك طاقة منخفضة جدا حسب درجة حرارة الفتيلة تكون قيمتها  $KT$ ، لا تتمكن من تفلت من المجس طالما إن  $V_p - V_s$  قيمة موجبة. وحيث إن  $V_p - V_s$  يؤدي إلى السالب، فإن تيار حراري thermionic current يتحرر من المجس، وتيار المجس يصبح هو التيار الأيوني. حيث منحنى  $I$  و  $V$  يتقاطع مع محور  $x$  فإننا نحصل على قياس دقيق لـ  $V_s$ . الجهد المطبق على الفتيلة يستخدم لتسخينها ويتم إيقافه للحصول على قراءات المجس قبل أن تبرد الفتيلة. ومن الممكن أن نسخن المجس بواسطة التصادمات مع الايونات عند قيمة سالبة كبيرة  $V_p$ ، وبعد ذلك نطفئ الجهد قبل اخذ القراءات. وللمزيد من المعلومات على هذه التقنيات، يمكن الرجوع إلى الجزء الخاص بـ Hershkowitz (loc. cit).

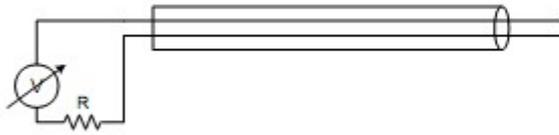


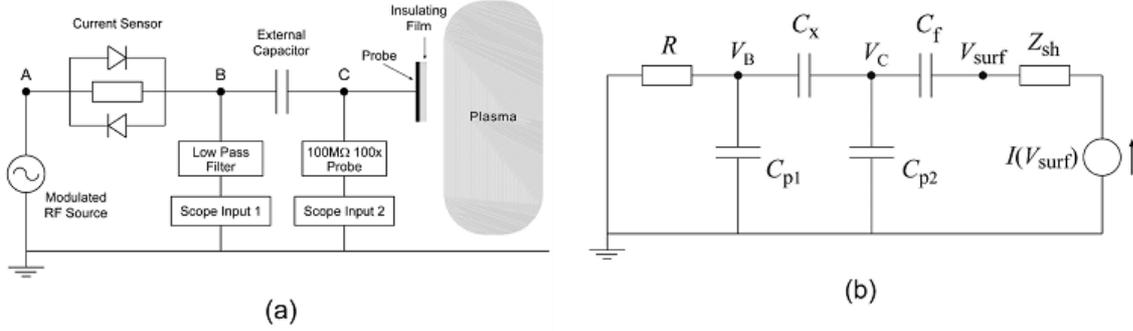
Fig. 51. A double probe.



Fig. 52. A hot probe.

## B المجس السعوي المزدوج capacitively coupled probes

كثير من المختبرات تجري تجارب بواسطة الغازات الخاملة مثل الارجون والهليوم، بلزما rf تستخدم في الصناعة غازات نشطة تسبب تأثير كبير على مجس اللانجمير. ومن المشاكل الشائعة في هذه الحالة هو تغطية طرف المجس بمواد عازلة. Booth وآخرين (28) استنتج مجس وسيط transient probe ليحل هذه المشكلة. الدائرة الموضحة في الشكل 53a. نبضة rf كبيرة مطبقة على ديودين متصلين مع مكثف خارجي  $C_x$  بمجس مسطح. الدائرة المناظرة لها موضحة في الشكل 53b، حيث  $Z_{sh}$  هي معاوقة المادة المحيطة للمجس،  $C_f$  السعة الكهربائية capacitance بين طبقتي الفيلم حيث يقل الجهد من  $V_{surf}$  إلى  $V_c$  و  $C_{pid}$  السعة المتسربة. تنتج نبضة rf جهد مستمر سالب على سطح الفيلم. بعد أن يتم إيقاف rf يضمحل الجهد في  $C_f$  و  $C_x$ ، مما يزود المجس بجهد مسح bias sweep. القيمة اللحظية  $V_p$  تقاس عند  $C$  بواسطة مجس له معاوقة كبيرة. والتيار يقاس بواسطة المقاومة  $R$ . الشكل 53 يوضح دائرة المجس المسطح الوسيط.



الشكل 53 يوضح الدائرة الكهربائية للمجس المسطح الوسيط

عندما تكون قيمة  $C_x$  مناسبة فإن كل منحنى  $I$  و  $V$  يُمسح في أجزاء من الملي ثانية. وبزيادة سمك الفيلم تقل قيمة  $C_f$ ، وبالتالي يصبح اضمحلال  $I$  و  $V$  بمعدل أسرع، كما هو موضح في الشكل 54.  $C_x$  يجب أن يكون متوافق لذلك. عندما يُصبح سمك الفيلم كبيراً جداً فإن المسح يُصبح سريعاً جداً لا يمكن للمادة المحيطة أن تتوافق معه. الشكل 5 يوضح خصائص الأيونات التي حصلنا عليها بهذه الطريقة، ولكن الحلقة المحيطة (الشكل 11) يجب أن تُستخدم وتُثبت على الوجه الصحيح. الشكل 56 a يبين تأثير المادة المحيطة والشكل 56 b يوضح إن منحنى  $I$  و  $V$  يتصرف بشكل صحيح مع الضغط.

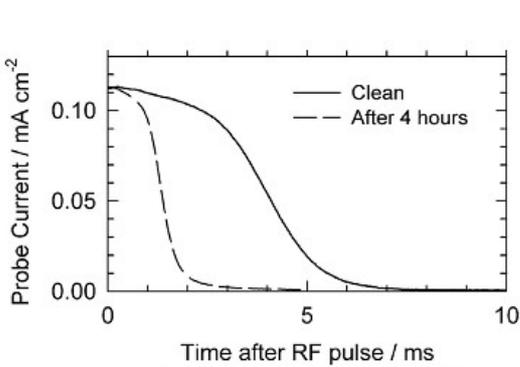


Fig. 54. Change of decay rate with  $C_f$ .

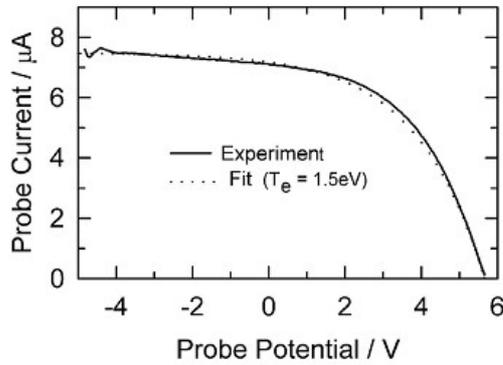
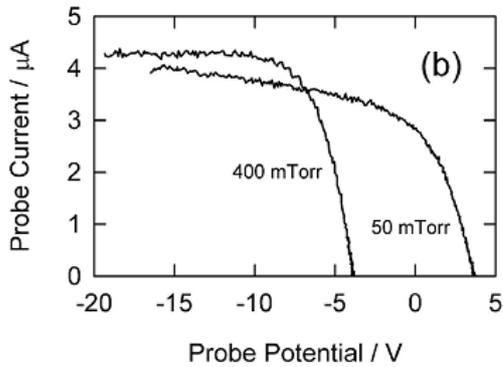
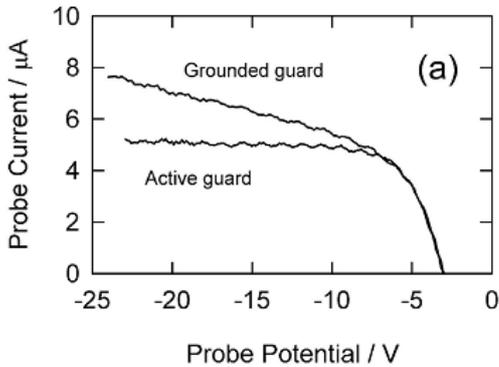


Fig. 55.  $I - V$  curve with transient probe.



الشكل 56 يوضح منحنيات التيار - الجهد كدالة في (a) جهد الحلقة المحيطة (b) الضغط



## ملخصات بحثية

### التوافق بين مجسات لانجمير ونظام Pico-Satellite

#### The Adaptability of Langmuir Probes to the Pico-Satellite Regime.

by Andrew J. Auman,

الهدف من هذه الرسالة البحثية هو التحقق من استخدام مجسات لانجمير على pico-satellites. التحليق على مدارات أرضية منخفضة فوق مناطق جغرافية. والشبائر الأخرى من الرسالة تدرس تأثير الايونوسفير على نظرية مجس اللانجمير، والصعوبات التي تواجه مجسات اللانجمير مع pico-satellite موضحة في شبتر خاص. كذلك المساحة المطلوبة بين القمر الصناعي والمجس للتحقق من القياسات التي تنتج عن مجس لانجمير pico-satellite لمناطق المدارات محل اهتمام هذه الدراسة مذكور أيضا.

### تشخيص البلازما الموجهة بواسطة أمواج الليزر في بلازما ممغنطة

#### Plasma Diagnostics for Laser Driven Waves in a Large Magnetized Plasma

C. Niemann, E. Everson, C. Constantin, D. Schaeffer, N.

Kugland, P. Pribyl, W. Gekelman, A. Collette, S. Tripathi and S. Vincena

التفاعل بين البلازما المنتجة بواسطة الليزر مع بلازما ممغنطة تم دراستها باستخدام العديد من الطرق. لقد قمنا بمناقشة النظرية، والتصميم والتركييب لثلاثة أنواع من طرق التشخيص وهي: مجسات لانجمير ومجسات ماخ ومجسات B. استخدام مجس عمودي الشكل سهل لنا الحصول على بيانات وقياسات قريبة جدا من مادة الهدف كذلك داخل فقاعات ديامغناطيسية تشكلت عن بواسطة الليزر. القراءات والتحليل المبدئي موضح لطرق الثلاثة المستخدمة.



## فهم خصائص منحنيات التيار والجهد لمجس لانجمير

### Understanding Langmuir probe current-voltage characteristics.

Robert L. Merlino

قامت بطرح العديد من الأمثلة لنماذج خصائص منحنيات التيار والجهد لمجس لانجمير لمساعدة الطلبة في تفسير المنحنيات الحقيقية التي يحصلون عليها من البلازما. الطلبة يمكن أن ينتجوا خصائص منحنيات التيار والجهد لمجسات لانجمير الخاصة بهم باستخدام برنامج يدرس ذلك عند تغير كثافة البلازما، وجهد البلازما، ودرجة حرارة الالكترونات، ودرجة حرارة الايونات، ومساحة المجس. بعض الأمثلة على خصائص منحنيات التيار والجهد لمجس لانجمير التي يمكن الحصول عليها من التجارب العملية أيضا موضح ومفسر. بعض الملاحظات وضعت لتجارب معملية متقدمة للطلبة في مرحلة الدراسة الجامعية.

### تشخيص بلازما من الالكترونات النقية بواسطة مجسات الفيض الجسيمي الداخلية

### Diagnosing pure-electron plasmas with internal particle flux probes.

J. P. Kremer, T. Sunn Pedersen, Q. Marksteiner, R. G. Lefrancois, and M. Hahn

التقنية المستخدمة لقياس جهد البلازما وكثافتها ودرجة حرارتها لبلازما من الالكترونات النقية بواسطة المجسات الإشعاعية ومجسات لانجمير موضحة. جهد البلازما مقاس كأقل جهد سالب قادر على تحرير الكترونات من فتيلة تنجستين ساخنة. درجة الحرارة قيست كما هو معروف في بلازما شبه متعادلة quasineutral plasma، من خلال تفسير خصائص التيار والجهد لمجس لانجمير. نتيجة لتأخر تشبع تيار الايونات، فان الكثافة يجب أن تقاس من خلال تفسير هذه الخصائص، وهذا يجعل القياسات معقدة جدا. يزداد تعقيد القياسات عند الكثافات المنخفضة. وعند معدل انتقال بطيء، وعند تدفق كبير لالكترونات البلازما. هذه المقالة تصف استخدام هذه التقنيات على بلازما الالكترونات النقية في Columbia Non-neutral Torus \_CNT\_ stellarator. القيم المقاسة لبعض التجارب الحالية في CNT هي عند قيم  $p = -200 \pm 2 \text{ V}$ ,  $T_e = 4 \pm 1 \text{ eV}$  و  $n_e$  في حدود  $10^{12} \text{ m}^{-3}$ .



مجس فلوريسنت البلازمون: تأثير الطول الموجي على Fluorophre المطعم بجسيمات الفضة.

### Plasmon-Coupled Fluorescence Probes: Effect of Emission Wavelength on Fluorophore-Labeled Silver Particles.

Jian Zhang, Yi Fu, Mustafa H. Chowdhury, and Joseph R. Lakowicz\* , 2008

قمنا بفحص كثافة الإشعاع والطول الموجي لجسيمات الفضة ذات قطر 40nm مغطاة بال-fluorophores له أطوال موجية ذات قيم امتصاص وانبعثات مختلفة. الهدف من هذه الدراسة هو استخدام التفاعل في fluorophores مع البلازمون في الجسيمات المعدنية لإنتاج مجسات ذات لمعان اكبر بقدر الامكان. سوف نستخدم كلمة المجسات المركبة كتسمية لمجسات Plasmon-coupled fluorescence (PCPs). تم فصل fluorophores عن لب المعدن بقطعة طولها 10mm من البوليمر. لوحظ إن الوميض تحسن لسبع fluorophores بإشعاع طوله الموجي من 459 إلى 700nm. كما لوحظ ان الكفاءة تزداد عند الأطوال الموجية الأكبر لجسيمات الفضة المرتبطة مع fluorophores. عند مقارنة جسيم وحيد من fluorophores حر في محلول مع آخر مرتبط بجسيم الفضة نجد إن شدة الإشعاع تزداد من 3 إلى 17 ضعف. العلاقة بين زيادة الكفاءة وعدد fluorophores المرتبط بكل جسيم الفضة تم دراسته للحصول على أفضل وميض ل-PCP. بمقارنة هذا مع fluorophores في غياب الجسيمات المعدنية، وجدنا إن كل جسيم مطعم بجسيمات الفضة يعطي وميض أعلى بـ 1000 مرة، وهذا يظهر مدى الاستفادة من هذه التقنية في التطبيقات الطبية والبيولوجية.

### استخدام مجس اللانجمير لتشخيص اللهب المثبط أو المخفض

#### The use of Langmuir probe for diagnostics of flame Quenching.

Marc Bellenoue<sup>1</sup>, Sergei Labuda<sup>1</sup>, Maxime Makarov<sup>2</sup>, Julien Sotton<sup>1</sup>

الخصائص الكهربائية للهب درست بكثرة خلال فترة زمنية تصل لقرن من الزمن. الاهتمام بعملية التأين بالاحتراق الأمامي تم استحثاها على سبيل المثال، الفكرة الجذابة التي استخدم فيها إشارة المجس لتشخيص الاحتراق. حيث إن اللهب مكون من جسيمات مشحونة (ايونات والكترونات) تنتج عن الاحتراق الأمامي فانه من الممكن اعتباره بلازما ذات ضغط عالي. وضع المجس الكهربائي في منطقة الاحتراق من الممكن من ناحية المبدأ أن يوفر معلومات على ظروف الاحتراق. وبالرغم من إن استخدام الايونات في المجسات يعتبر ارخص وأكثر الطرق انتشارا لمراقبة مراحل الاحتراق في المحركات ذات الاحتراق



الداخلي، لكن تبقى العملية الفيزيائية للتيار الناتج عن عملية التأين غير مفهوم، وبالرغم من إن هناك عدد من نظريات المجسات لمحاولة تفسير وشرح تكون تيار المجس عند ظروف مختلفة (انظر المرجع [1] كمرجع بين الكثير من المراجع). هذه النظريات تعتمد على نظرية مجس لانجمير الموجه لدراسة وتشخيص البلازما ذات الضغط المنخفض. لان سلوك البلازما عند سطح المجس يتأثر باللهب فإننا قمنا باستخدام عملية جديدة سميها التشخيص باللهب المثبط thermal flame quenching. على سطح الكترود المجس للتحكم بتيار المجس. في هذه الورقة العلمية تقدم نموذجاً بسيطاً لتيار ايوني لمجس لانجمير محاط باحتراق بلازما.

النموذج يأخذ في الحسبان اللهب الحراري المثبط على سطح الكترود المجس ليوفر نتائج عملية لتغير تيار المجس مع الضغط لخليط من الميثان والهواء عند نسب خلط مختلفة. موضح عملياً خصائص التيار والجهود (CVC) والتي تبين تأثيرها بواسطة اللهب المثبط على سطح المجس.

## دراسة لمجس لانجمير لتيار غير رنيني يؤثر على تفريغ كهربائي ذات نظام helicon

### Langmuir probe study in the nonresonant current drive regime of helicon discharge

MANASH KUMAR PAUL<sup>α</sup> and DHIRAJ BORA

خصائص بلازما تولدت في نتوء دائري بواسطة نظام تيار كهربائي يولد أمواج helicon عند ترددات عالية. تم تصميم مجس لانجمير RF لاستخدامه في قياس معاملات البلازما مع توزيع طاقة الإلكترونات في مسح دائري للبلازما. تم تحديد أشكال توزيعات طاقة الإلكترونات في نظام التشغيل لتؤكد لنا إن إخماد Landau ليس مسنولاً على التفريغ الكهربائي helicon المعروف منذ القدم. التوزيع القطري للكثافة وبلازما ذات درجة حرارة عالية وعند غياب كمية لا بأس بها من الإلكترونات ذات طاقة عالية لإحداث تفاعل رنيني بين الأمواج والإلكترونات كل هذا يمهد لنا أن نقترح إن العوامل المختارة للنظام مناسبة لدراسة التيار الغير رنيني الناتج عن أمواج ال helicon. التيار الكافي لتوجيه البلازما الذي حصلنا عليه بواسطة جهازنا يوضح بما لا يدع مجالاً للشك قدرة التيار الغير رنيني الناتج عن أمواج helicon في نظامنا.

**ملاحظة: Helicon هي أمواج كهرومغناطيسية ذات تردد منخفض تمتلك القدرة على النفاذ من المعادن عند درجة حرارة منخفضة ومجال مغناطيسي عالي.**