

東北大学ヘリアックにおける
粒子注入型電極によるバイアス実験

宇藤裕康、岡本敦

東北大院工

背景 ~電極バイアス実験~

➤閉じ込め改善(Hモード)の物理研究

電極バイアス実験

LaB₆製熱陰極を用いた負バイアス実験

⇒ 電極電流制御による駆動力の能動的制御

◇TU-Heliac

◇CHS(弱磁場)

- ・遷移過程におけるイオン粘性の効果
- ・磁場配位依存性

な

ど、、、

遷移過程において重要な知見が得られている

課題

・熱陰極が脆性材料であり、電磁力などに対して弱い

⇒ 大・中型装置における強磁場中のプラズマをターゲットとした実験が困難

背景と目的

▶ 粒子注入型電極の開発

水素吸蔵金属 (Ti、V、Pd)を用いた電極バイアス実験

負バイアス実験

- 高密度プラズマ生成に成功 (電極からの中性粒子・電子注入による)
- 非常に大きな電極電流 (イオン飽和電流の約100倍)

将来的には.....

- プラズマ内部で粒子供給可能な高密度プラズマ生成ツール
- 機械的強度に優れた電子エミッション電極



粒子注入型電極の高性能化

- 長寿命化
- 電極電圧の閾値の低下

東北大学ヘリアック装置

•立体磁気軸を持つ小型プラズマ実験装置

トロイダル磁場コイル

垂直磁場コイル

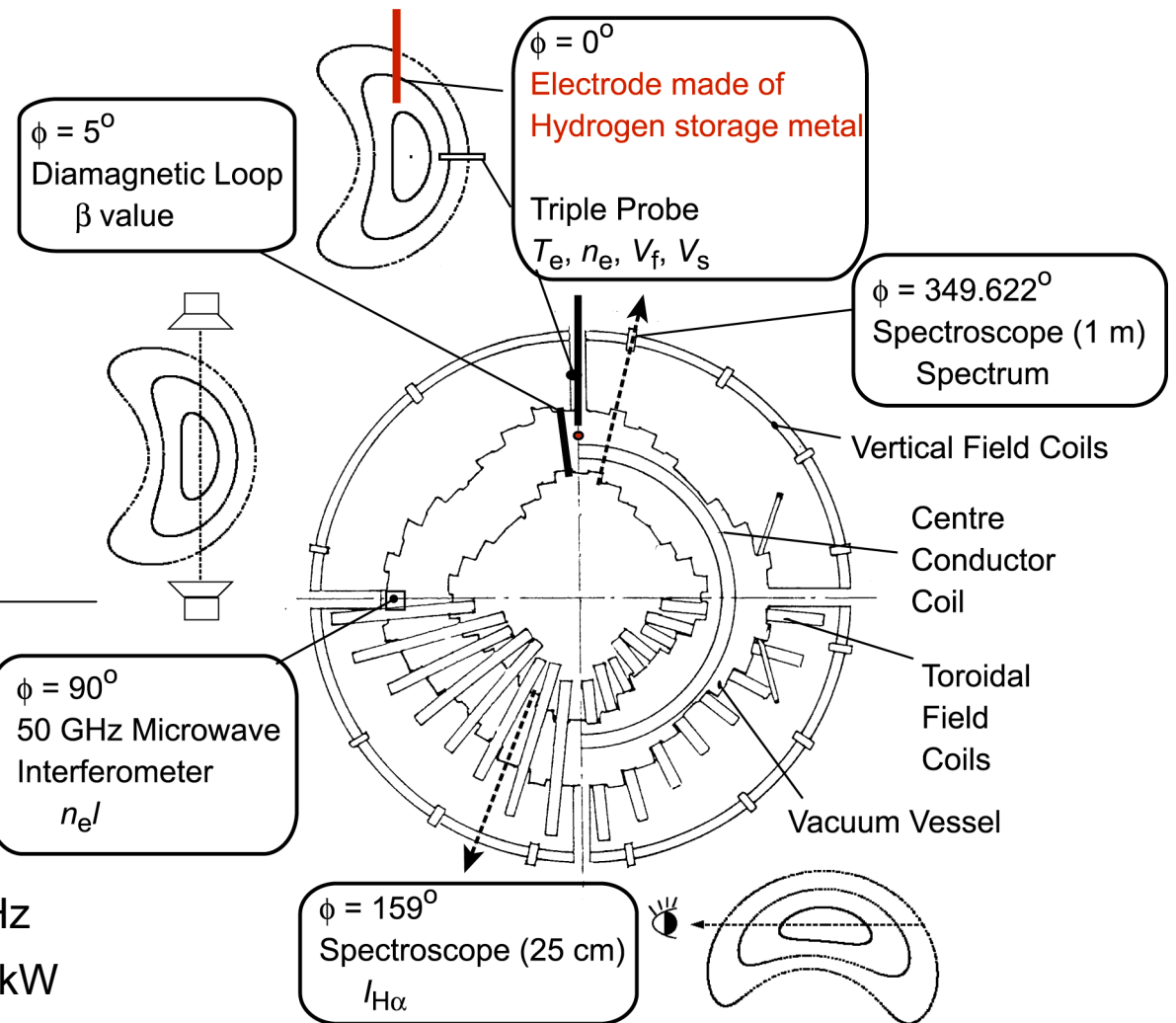


中心導体コイル

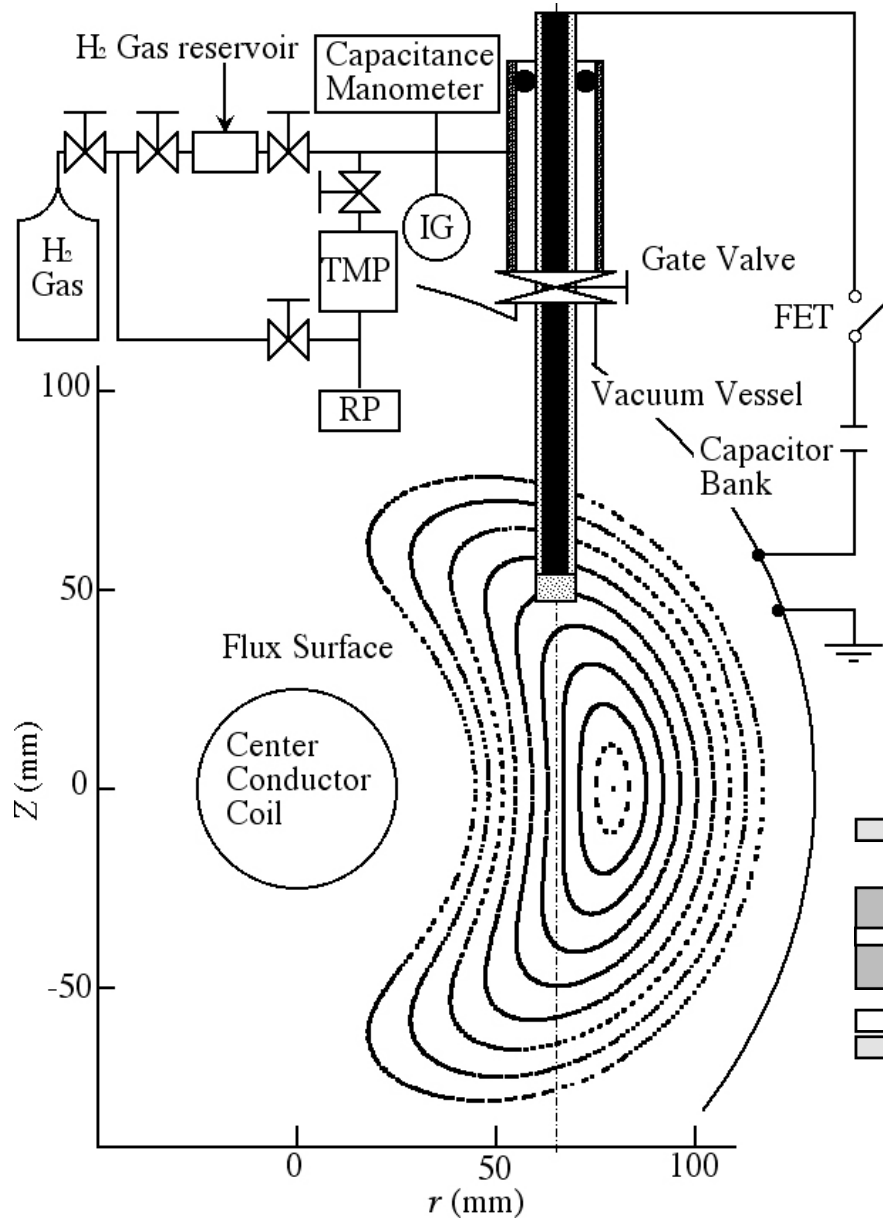
プラズマ

TU-Heliacの装置パラメータ

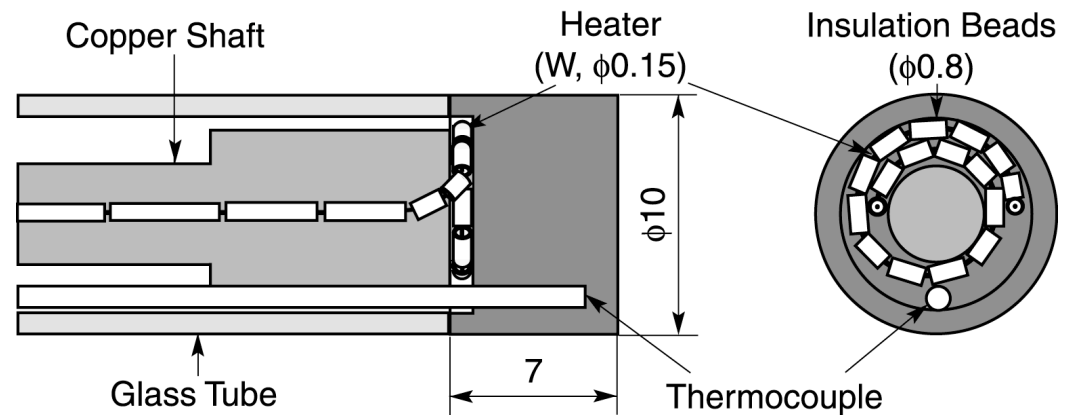
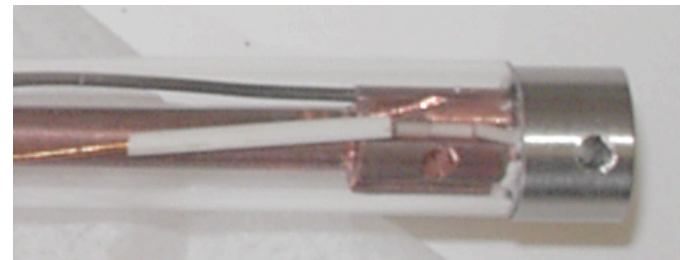
平均大半径 R_0	0.48 m
平均プラズマ小半径 a	0.068 m
トロイダル磁場	~ 0.3 T
磁場周期 M	4
RF周波数	18.8 kHz
RF発振器の出力	約 35 kW



粒子注入型電極



•電極加熱及び温度モニター機構



これまでの実験結果

▶ 負バイアス実験

▶ 高密度プラズマ生成

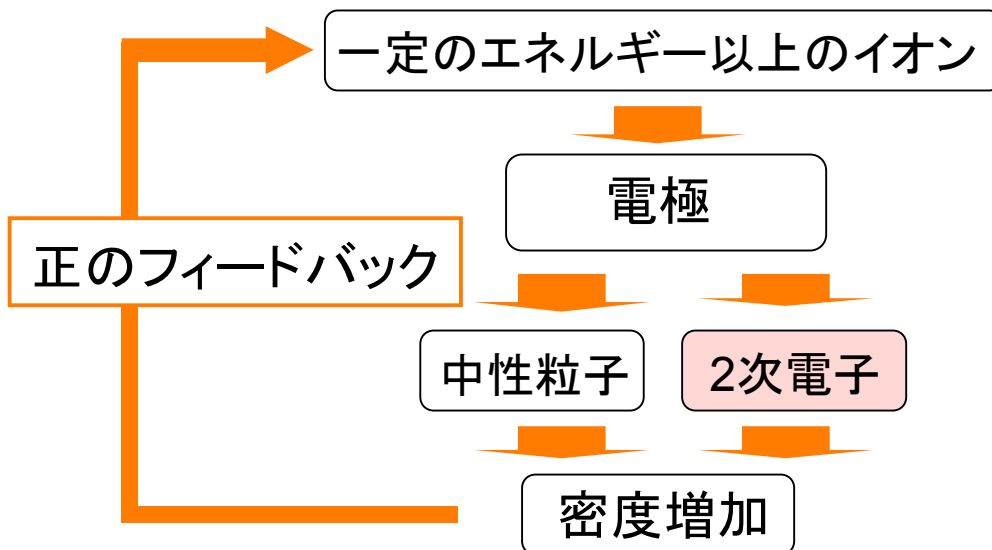
▶ 大電極電流

※放出電流密度: 約30 A / cm²

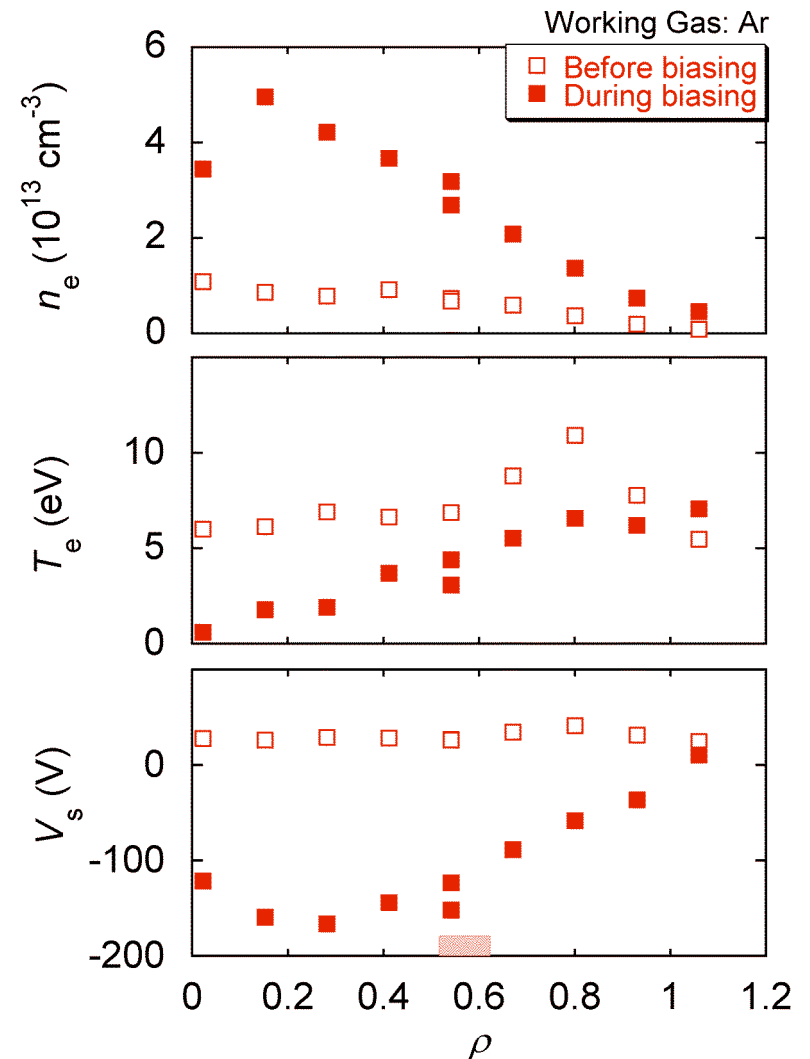
(LaB₆: 約1 A / cm²)

▶ 径電場形成)

▶ 大電極電流のメカニズム



▶ 径方向分布



生成回数と電極電圧閾値

▶Pd製電極

- ✓電極からのガス放出が大きすぎる
⇒ 注入ガス圧を制御不能

▶Pd (Auコーティング)製電極

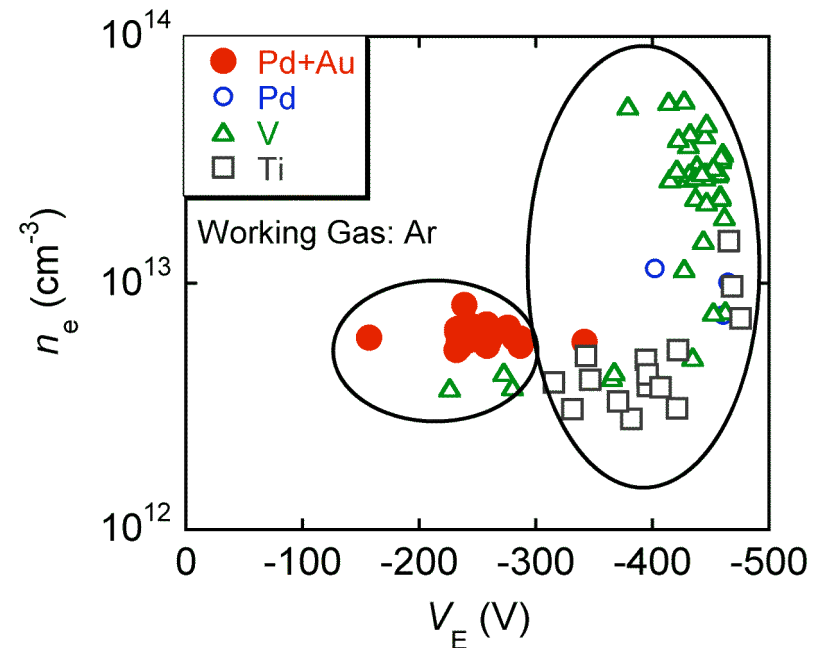
- ✓電極からのガス放出が減少
- ✓これまでの材料の中で最大の生成回数
- ✓低い電極電圧で高密度プラズマ生成可能

Pd(Auコーティング)製電極は
制御性の良い電極としても期待できる

- 高密度生成における金の効果
- 電極電流の制御性の有無の確認

電極	生成回数	放電間の真空度 (Pa)	電極電圧閾値 - V_E (V)
Ti	3	$\sim 5 \times 10^{-6}$	~ 300
V	21	$\sim 2 \times 10^{-4}$	~ 200
Pd	2	$\sim 8 \times 10^{-4}$	~ 150
Pd+Au	>35	$\sim 6 \times 10^{-5}$	<150

※通常の真空度: $\sim 2 \times 10^{-6}$ Pa



Auコーティングの効果について

- ▶ 高密度プラズマ生成は水素の効果なのか？ 金の効果なのか？

Pd	生成回数 電圧閾値		SUS	生成回数 電圧閾値	
	w/ H ₂	w/o H ₂		w/ H ₂	w/o H ₂
w/ Au	>35 回 ~100 V	4 回 ~300 V	w/ Au	17 回 ~250 V	-
w/o Au	2 回 ~150 V	2 回 ~400 V	w/o Au	20 回 ~280 V	(4 回) (~250 V)

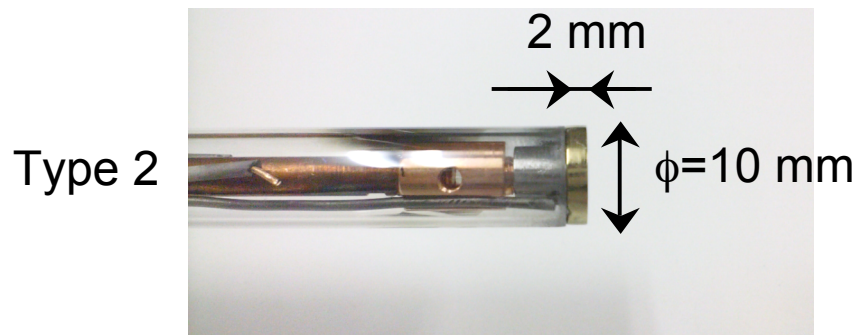
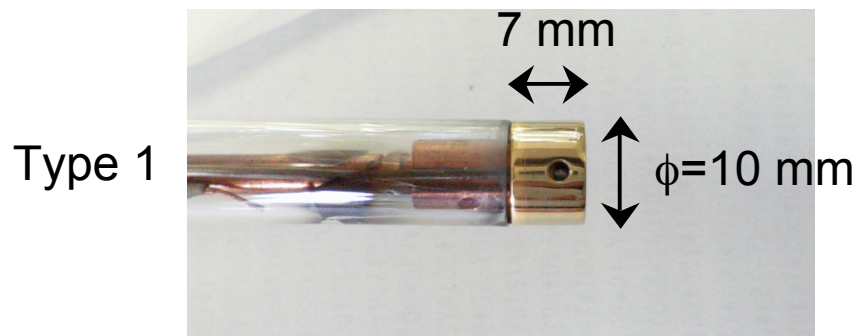
多くの高密度プラズマ生成は吸蔵した水素の効果

Pd(Auコーティング)製電極の小型化

✓電極電流が流れ過ぎ、既存の電源では制御が困難



電極の小型化を図り、制御性向上



•表面積、体積共にこれまでの約1/2

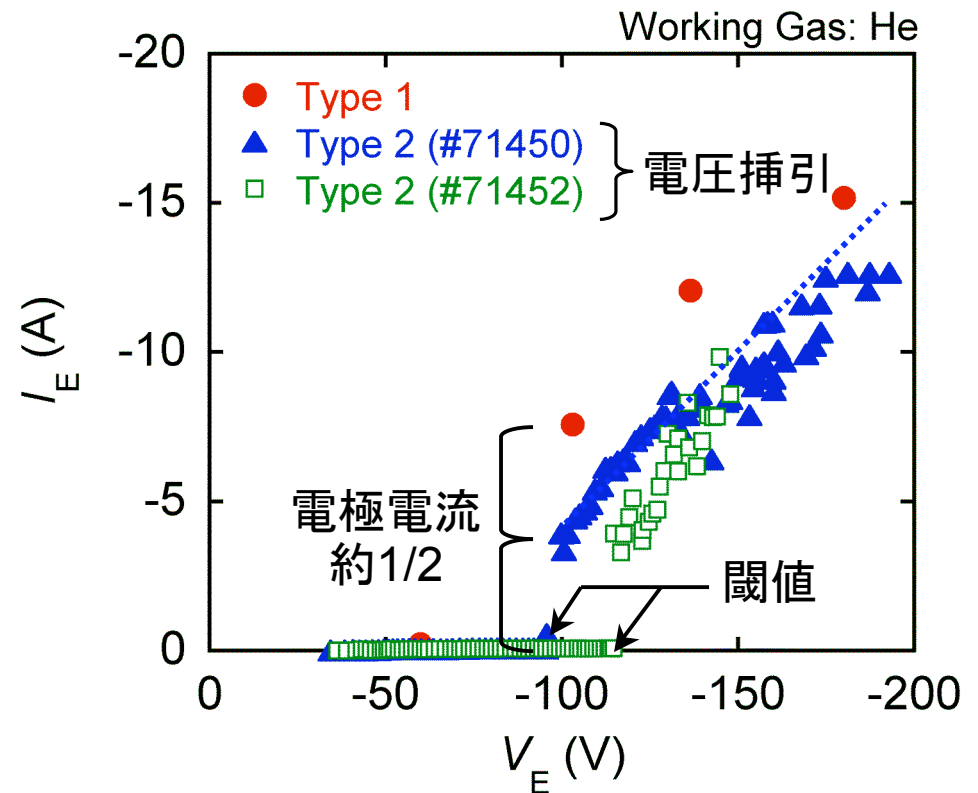
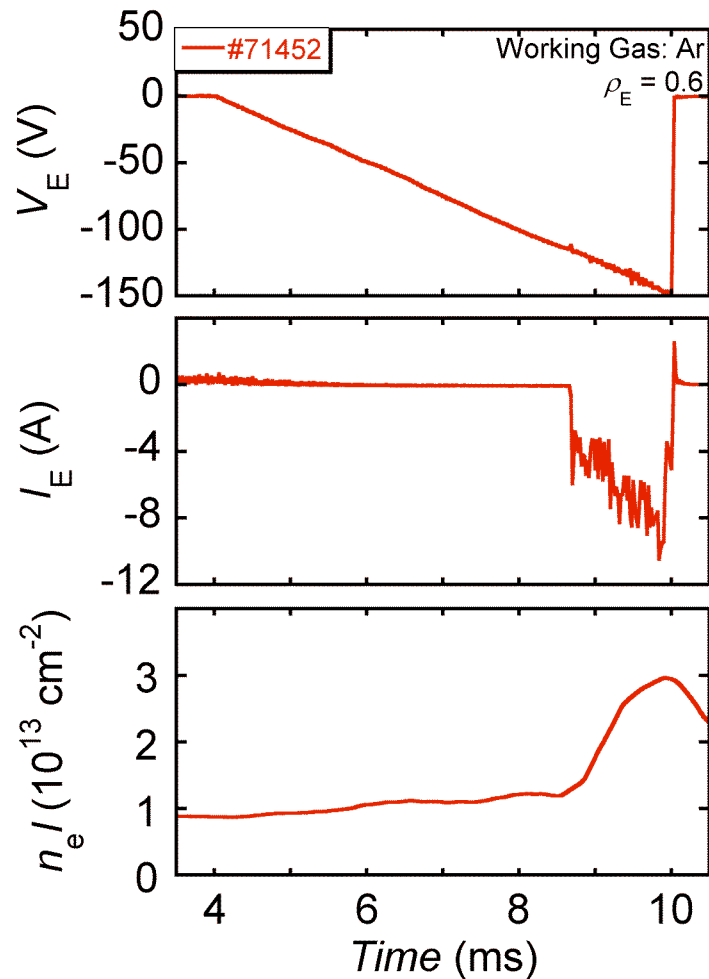
Type	体積 V (cm ³)	表面積 S (cm ²)	電極電流 $-I_E$ (A) (@ ~100 V)
Type 1	~0.46	2.98	~8
Type 2	~0.25	1.41	~4

•低電圧領域では電極の表面積にほぼ比例した電極電流が得られている

•高電圧領域では同程度の電極電流が流れる放電も観測された

制御性の確認

▶電極電圧挿引実験

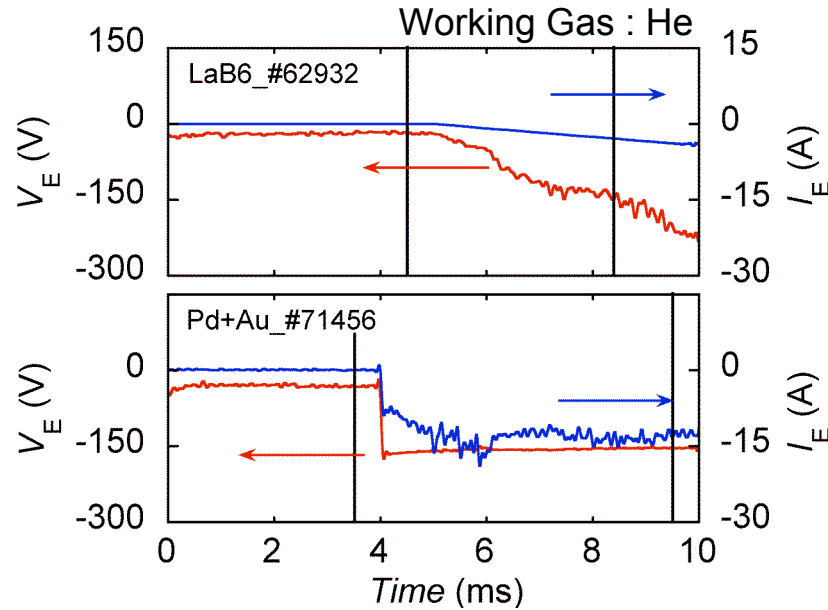


- 電極電圧に閾値が存在
- 低電圧領域では電極電流は約1/2
- 放電を重ねる毎に閾値が増加する傾向

- 低電圧領域において電流の制御性を観測

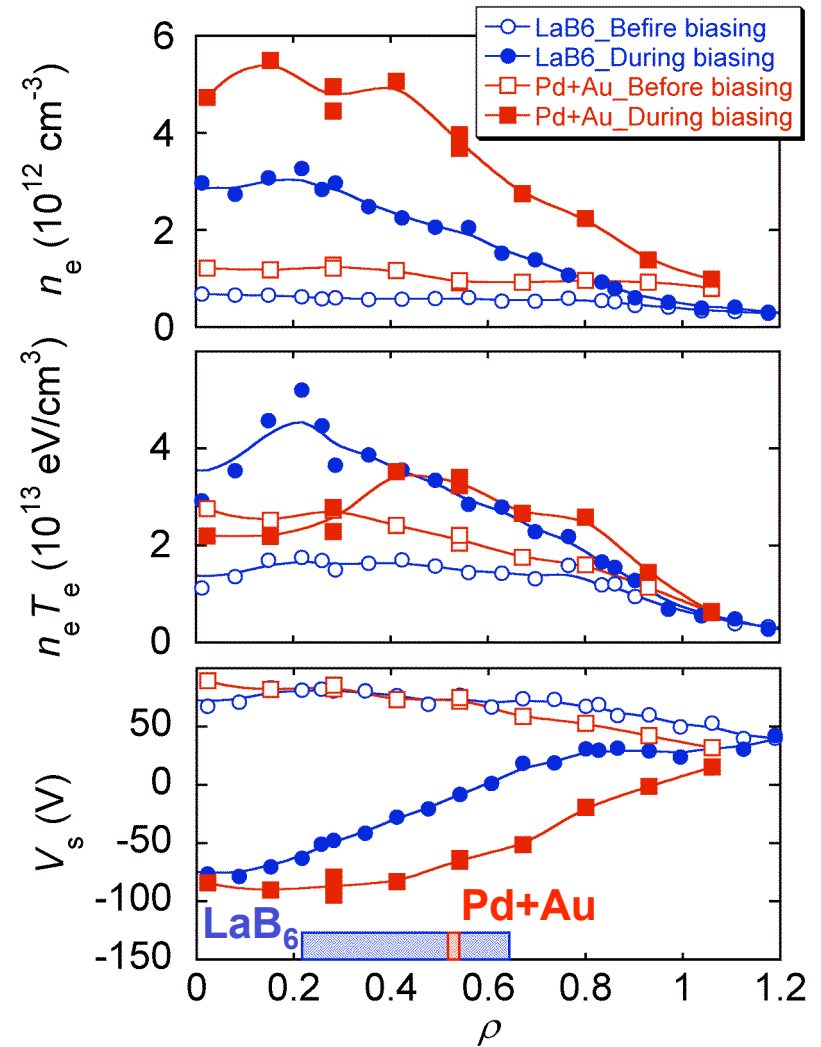
小型化電極の性能評価

▶ 熱陰極との比較



Electrode	表面積 S (cm ²)	電極電圧 - V _E (V)	電極電流 - I _E (A)
LaB ₆	4.22	~ 150	~ 3
Pd+Au (type 2)	1.41	~ 150	~ 12

- プラズマに対する相対的サイズの小型化
- 径電場形成を確認



まとめと今後の課題

- ▶ Pd (Auコーティング)製電極を用いた負バイアス実験
 - ✓多くの高密度プラズマ生成は吸蔵した水素の効果
 - ✓電極電圧に明確な閾値があることを確認

電極の小型化

- ✓低電圧領域で電極の表面積にほぼ比例した電極電流
- ✓低電圧領域において電流の制御性を観測
- ✓プラズマに対する相対的サイズの小型化
 - ⇒ プラズマ閉じ込め状態の変化を確認

▶ 今後の研究課題

- 金のプラズマ中への影響の検討
- 水素を吸蔵した電極のイオンビーム入射における2次電子放出係数の計測
- 粒子注入型電極を用いた閉じ込め特性の物理研究