

Lamb shiftの測定 励起水素原子の作成

Lamb shift の説明

Lamb shift(ラムシフト)とは、Diracの理論では縮退している電子のエネルギー準位が、量子電磁気的な高次の摂動による補正のために、ずれる現象。

我々が実験で目指すのは、水素原子の**2s**と**2p**軌道の電子のエネルギー準位のずれの測定。

実験方法

実験方法はLambのオリジナルの方法に合わせて、修正した方がよいと思われる部分は修正してみる。

実験の流れ 実験は $1 \sim 10^{-1} \text{Pa}$ 程度で行う

- ・水素分子から水素原子へ
- ・水素原子を励起(主に $2s$ 、 $2p$ 軌道の状態。ただし $2p$ はすぐに $1s$ になる)
- ・ $2s$ と $2p(2^2S_{1/2}$ と $2^2P_{1/2})$ のエネルギー差に相当する電磁波(RF)をかける
- ・磁場をかけて $2s$ 、 $2p$ のエネルギーを変える
- ・測定器で測定し、データを採取

水素分子から水素原子へ

水素分子を熱分離して、水素原子を作る。
Lambに従うと、約1800Kに加熱したチューブ
を通すと水素原子ができる
我々は、
チューブには融点の高いタングステン(W)を
用い、
近くにセットしたフィラメントからでる電子を、
Wチューブとフィラメントの間に電位差をかけ
ることで加速してフィラメントにぶつけることで、
加熱を行う

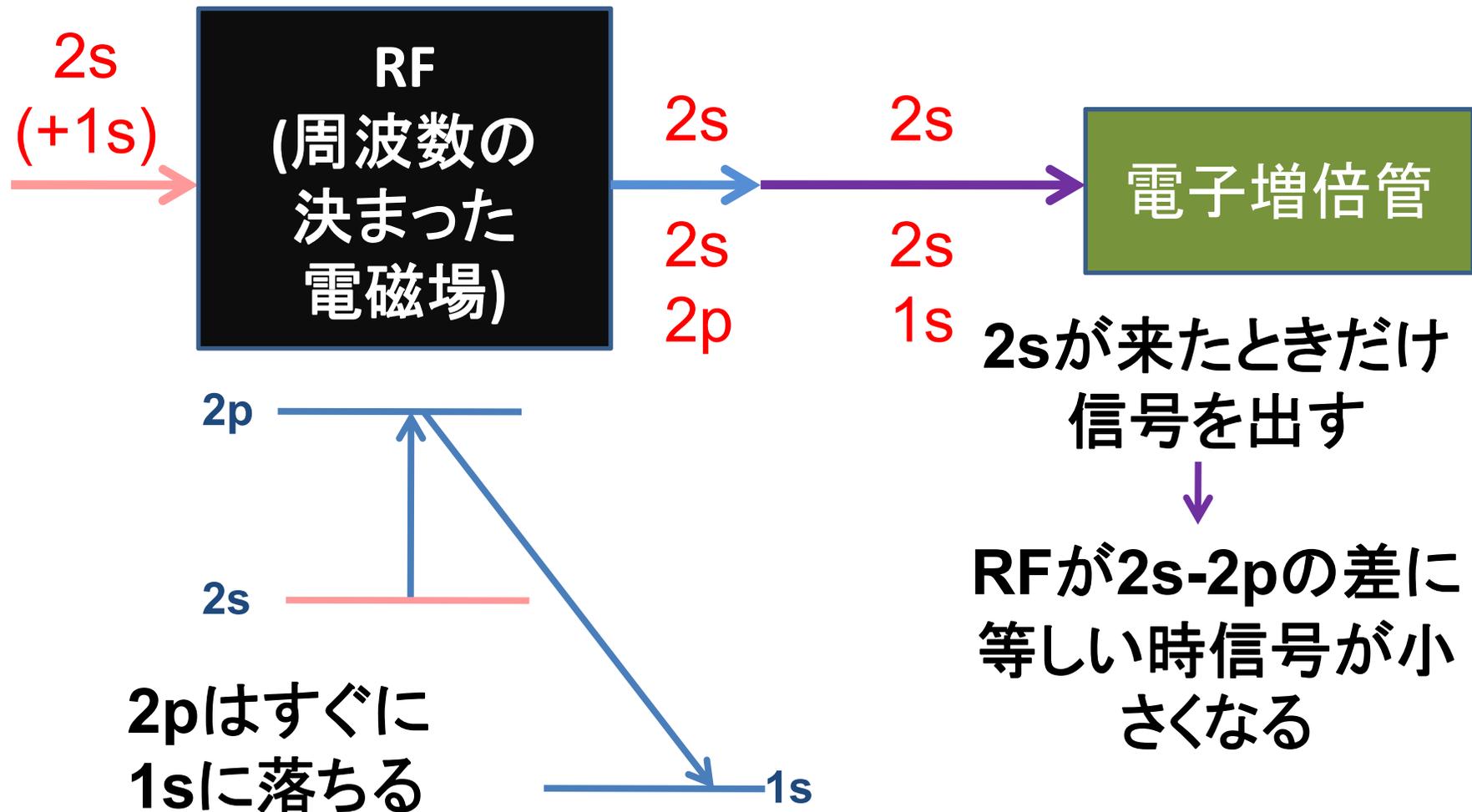
水素原子を励起

作成した水素原子に、先とは別のフィラメントから発生させる電子をぶつけることで励起させる

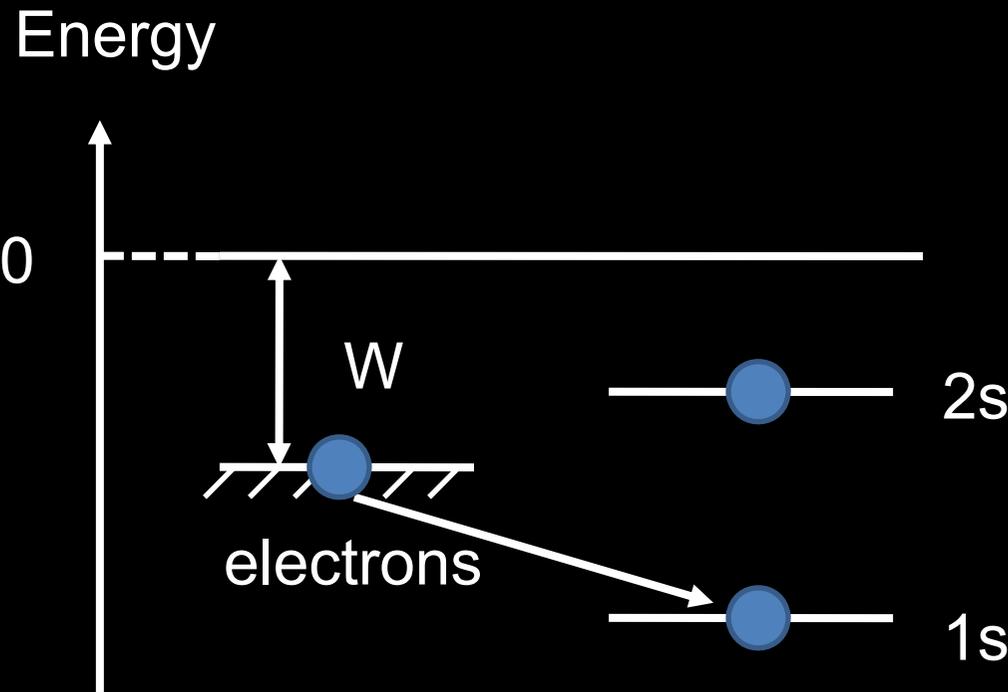
以上2つの部分については、装置の作成のところで多少詳しく説明する

我々が到達したのはこの辺りまで

2s水素原子→Lamb shiftの測定



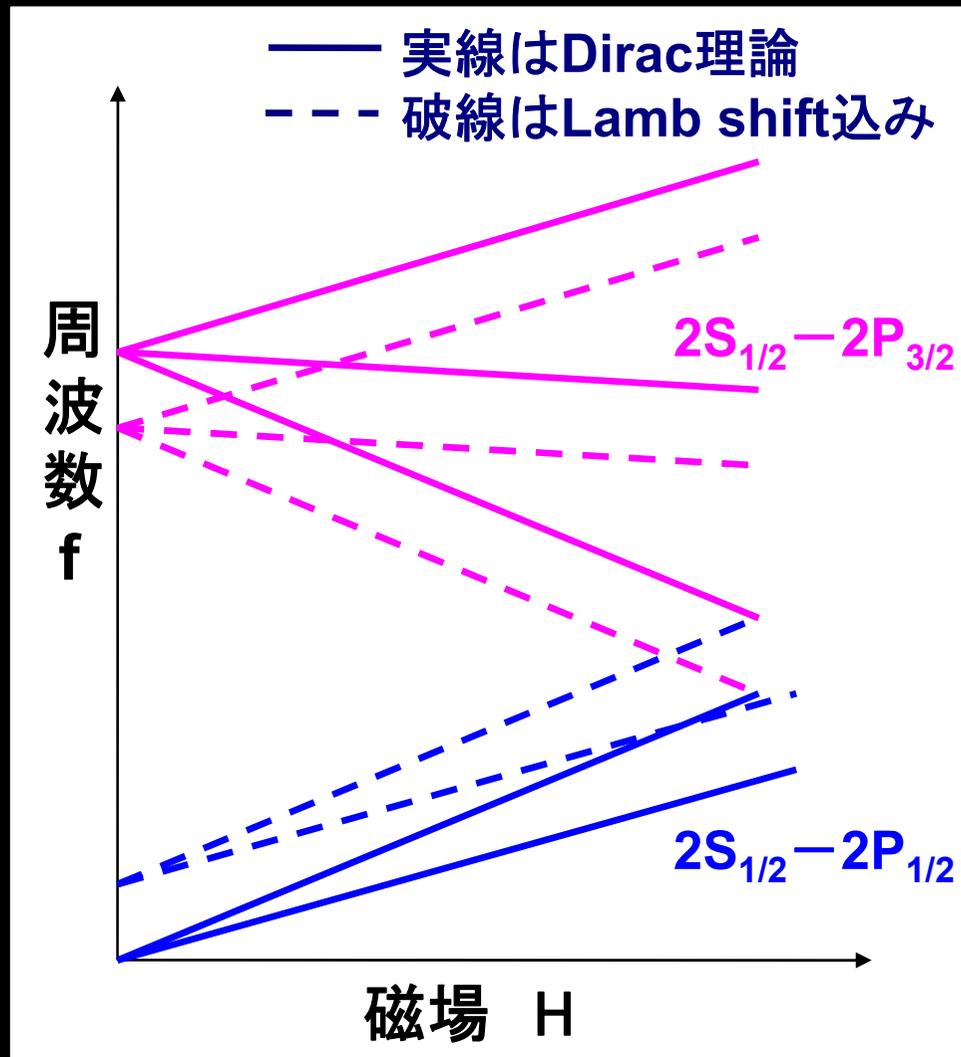
2sだけ信号にする原理



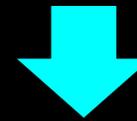
電子増倍管は
金属面とそこから出
た電子を増倍する
部分から成る

2sの水素が金属面
に当たると左の機構
で電子を放出する

Zeeman効果でLamb shiftを見る



磁場の強さを変えていくと最も信号が弱くなる(最も2pに変化する)磁場がある



当てるRFに対応した磁場の強さが求まる

実験装置

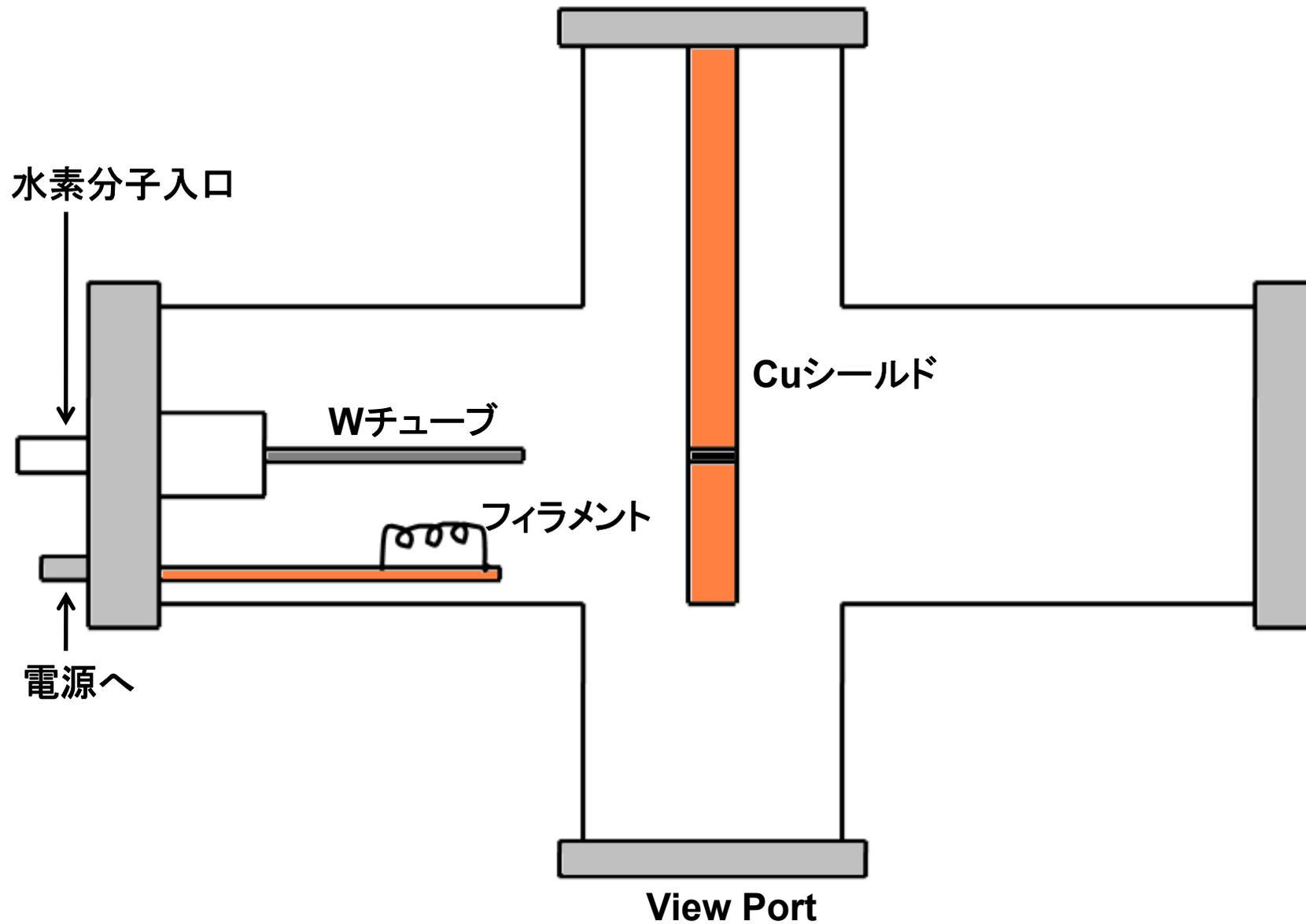
装置の超略図



第1段階

水素原子発生源の作成

水素原子発生源の断面略図(初期)



Wチューブ内を通る水素分子を水素原子にするために、Wチューブを加熱したい。

やや現代風に、

フィラメントから熱電子を出し、Wチューブとフィラメントの間に電位差をかけて加速させ、Wチューブにぶつけて加熱する。

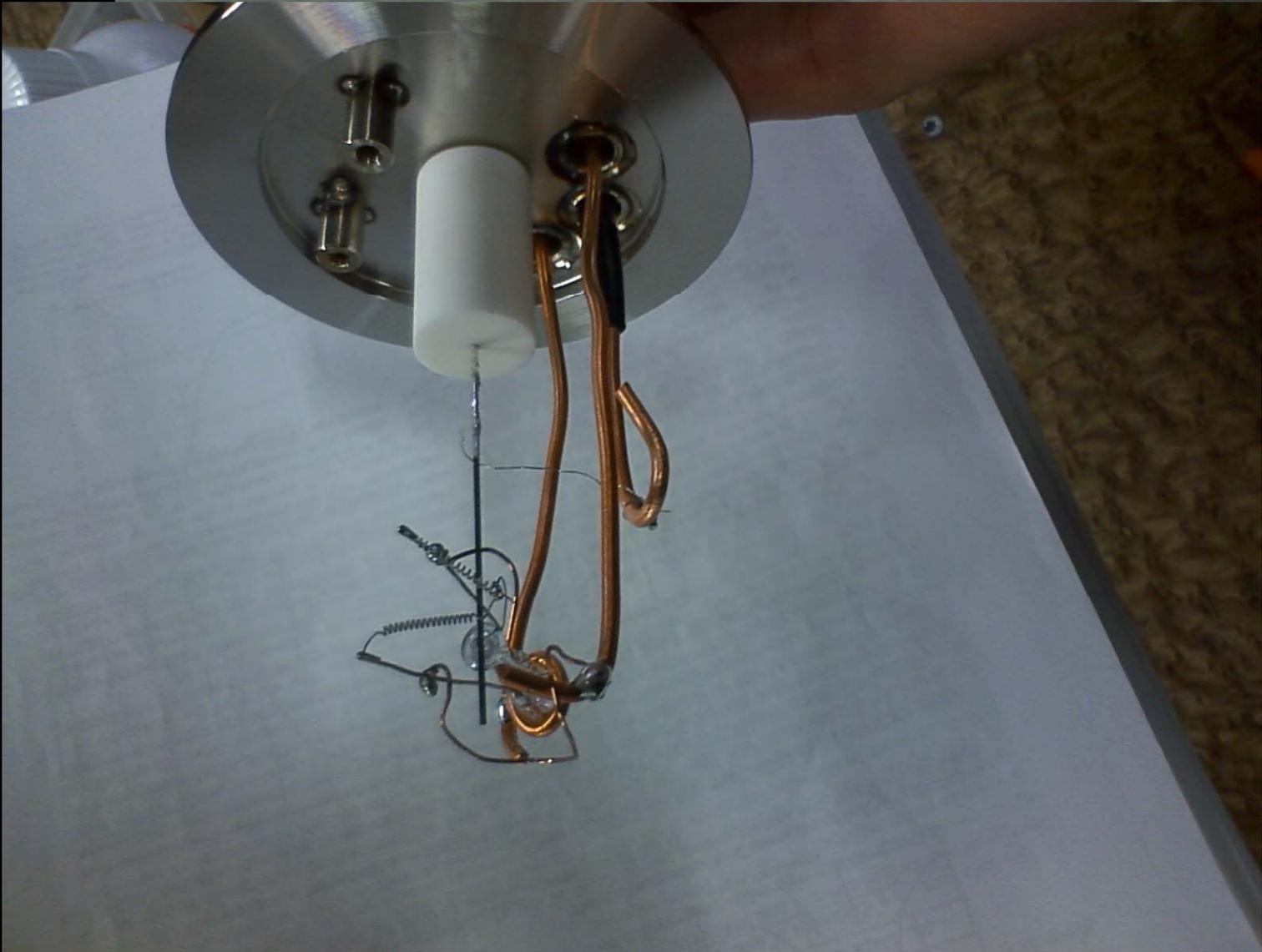
Wチューブは、高価なため、しばらくは同等の熱容量を持つシャーペンの芯を目標の温度(約1800K)まで温める。

まずは、フィラメントに何を使うか

其の壱

市販の電球をがち割って、
中のフィラメントを使う。





電源1号(フィラメント用)



電源1号の都合上、
35V、数Aまでしかかけられなかったが、
うまく輝き、熱電子が出ていることも確認。

が、

パワーがまるで足りない。

(おまけに、フィラメントはもろく消耗品。)

パワーを上げる策

- ・市販フィラメントをたくさんつける
- ・もっと**ゴツい**フィラメントをつかう

装置の大きさはきまっていて、つけられるフィラメントの数には限度があるため、



ゴツいフィラメントを使う
ことに

其の弐

ゴツいフィラメントを使い、大電流を流し、パワーをえる。

まずは、
先と同じ電源1号で実験

ゴッツ1号



抵抗が小さすぎて、電流が流れすぎ、
リミットを越えてしまいあたたまらず。

ゴッツ2号



抵抗が小さすぎて、電流が流れすぎ、
リミットを越えてしまいあたたまらず。

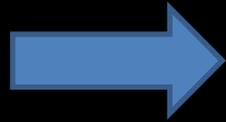
パワーの大きい電源を使うことに・・・

電源2号(フィラメント用)

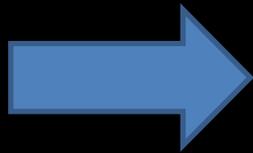


8V 20A

パワーは上がったものの、
ゴッツ1号、ゴッツ2号ともに輝かず。



やや行き詰まる



もっとパワーの大きい電
源を使うことに…

電源3号(フィラメント用)

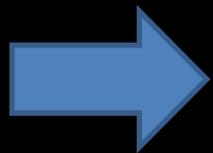


0~130V 2000W

パワーはかなり上がったが

大電流に耐えられず、
ケーブルから白煙
が...

溶けて中がむき出しに



ややゴツいケーブルを使うことに

まずは、
通常の家電等につかうケーブルを使う



あぶないにおいがしたかったので中断
ケーブルが熱くなっていた

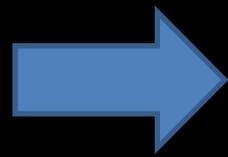
➡ 可能な限りケーブルをゴツくす
ることに



極太2本重ね。これでどうよ

うまく輝くことを確認

しかし、
すぐチェンバーが熱くなりすぎたために、一時中断。



もともとそのつもりだったが、
流水で冷やすことに

汚い(?)流しから
水を引く

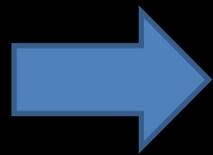


うまく輝く



が、**緑**の閃光とともに、突然消える。

中を開けると、あまりの熱さに、銅が溶けて、フィラメントと一体化していた。
(緑の閃光は炎色反応?)



間にMoをはさんで銅に直接熱が伝わらないようにする

水素分子入口



Wチューブ



フィラメント



この銅が溶けた



Cuシールド



View Port

さりげなくホースが黒こげに・・・



あまり気にせず実験

Moチューブ

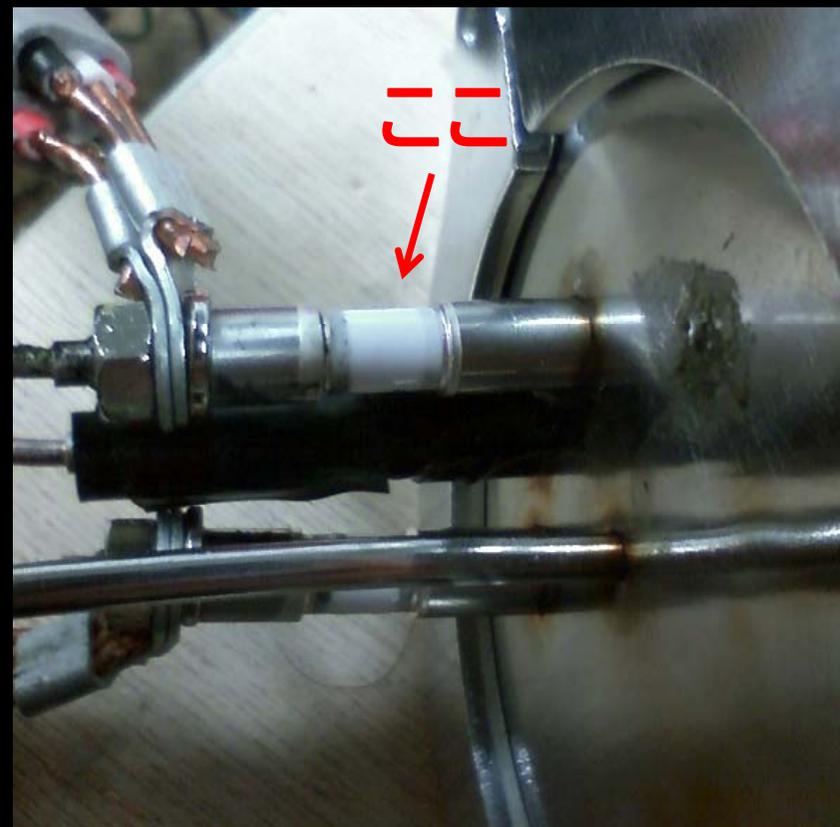


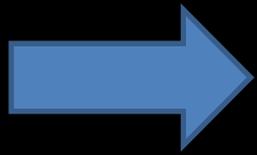
銅が溶けることはなく、長時間輝き続ける

が、
どこからか香ばしい香りが...

外部のセラミックが赤くなる
(においとは別原因)

熱すぎ





フィラメントを使う加熱には無理
が...

とにかく熱過ぎて、装置自体が
溶けそう。

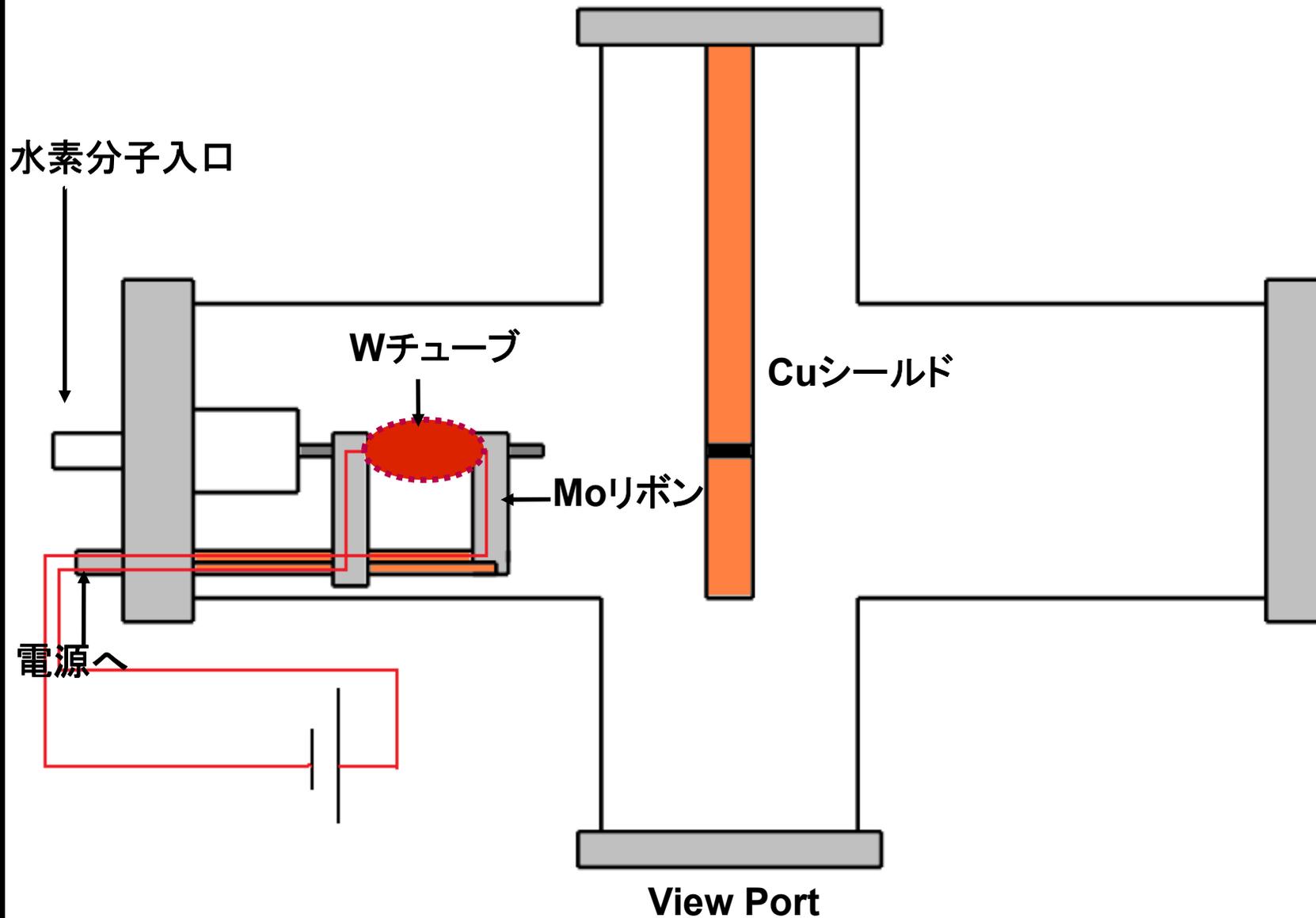
行き詰まる

其の参

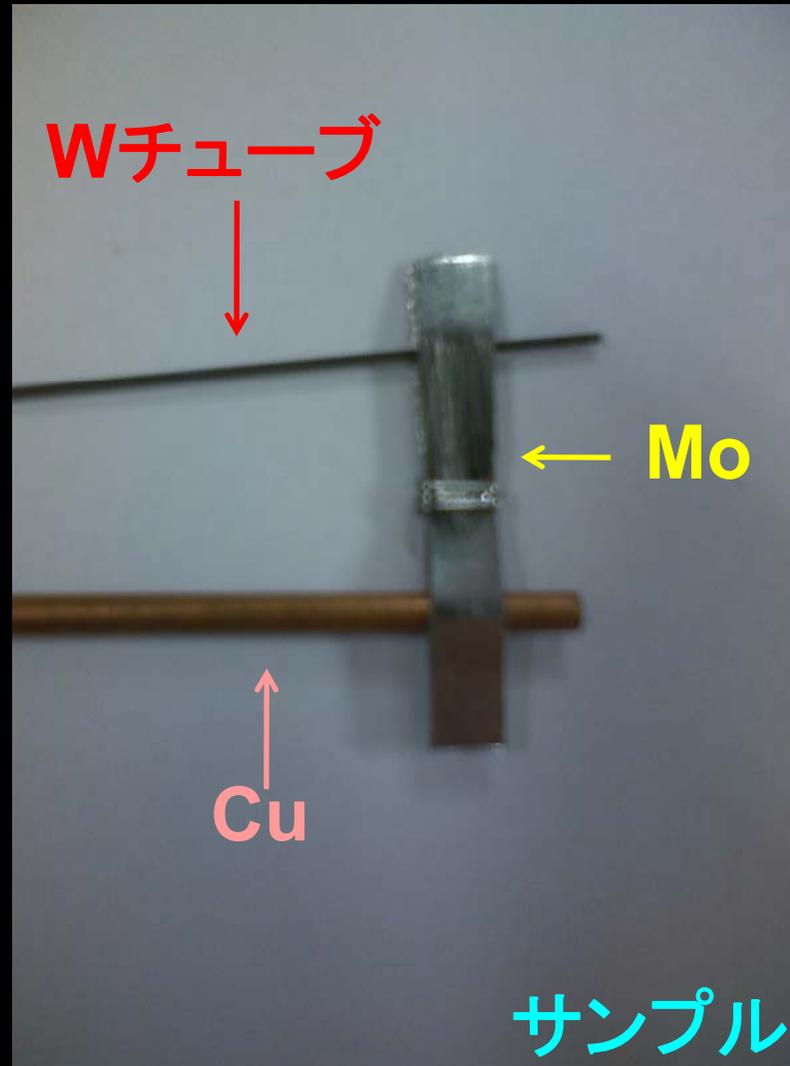
Lamb方式に原点回帰？

直接Wチューブのジュール熱で加熱

水素原子発生源其の参(Lamb方式)の断面略図

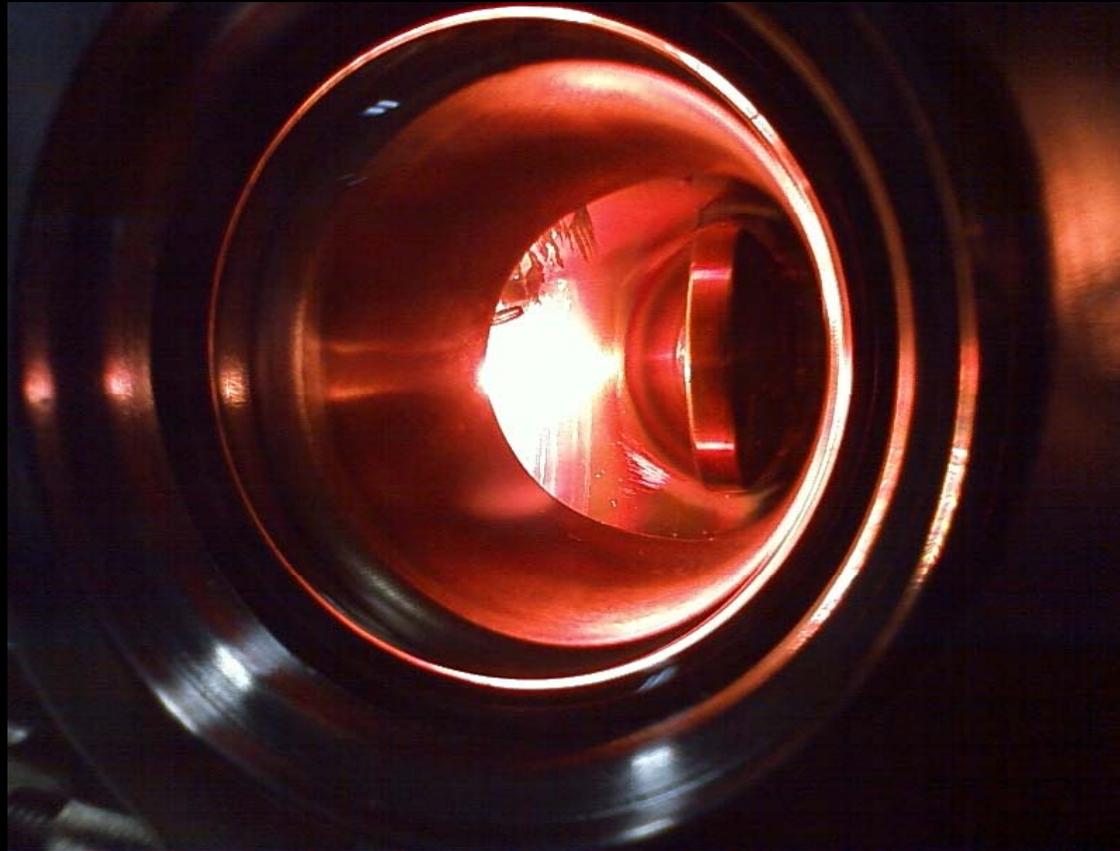


今回もWとCuの間にMoを噛ませる



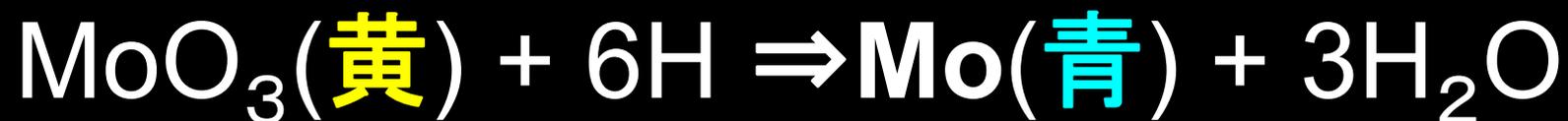
うまく発熱する

電源2号(8V,20A)

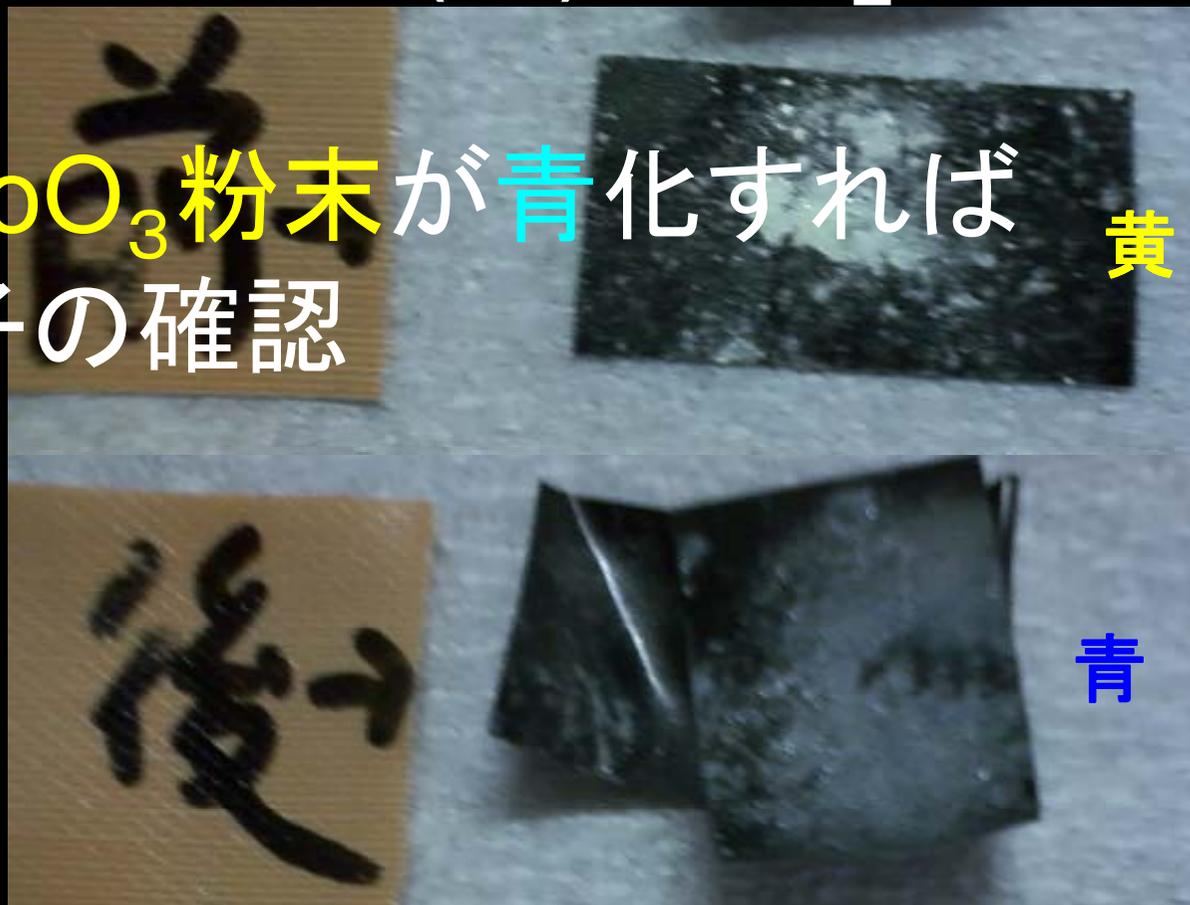


初めからこうしていれば.....

水素原子の検出



容器内の MoO_3 粉末が青化すれば
→水素原子の確認

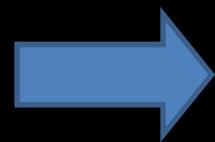


Wチューブが変色(酸化?)、崩壊

前



後



Moチューブで代用

- ・ 廉価
- ・ 耐熱性
- ・ 丈夫

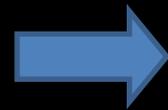
Moチューブで代用

Wより抵抗が小

- ・チューブ自体の太さ
- ・熱抵抗率

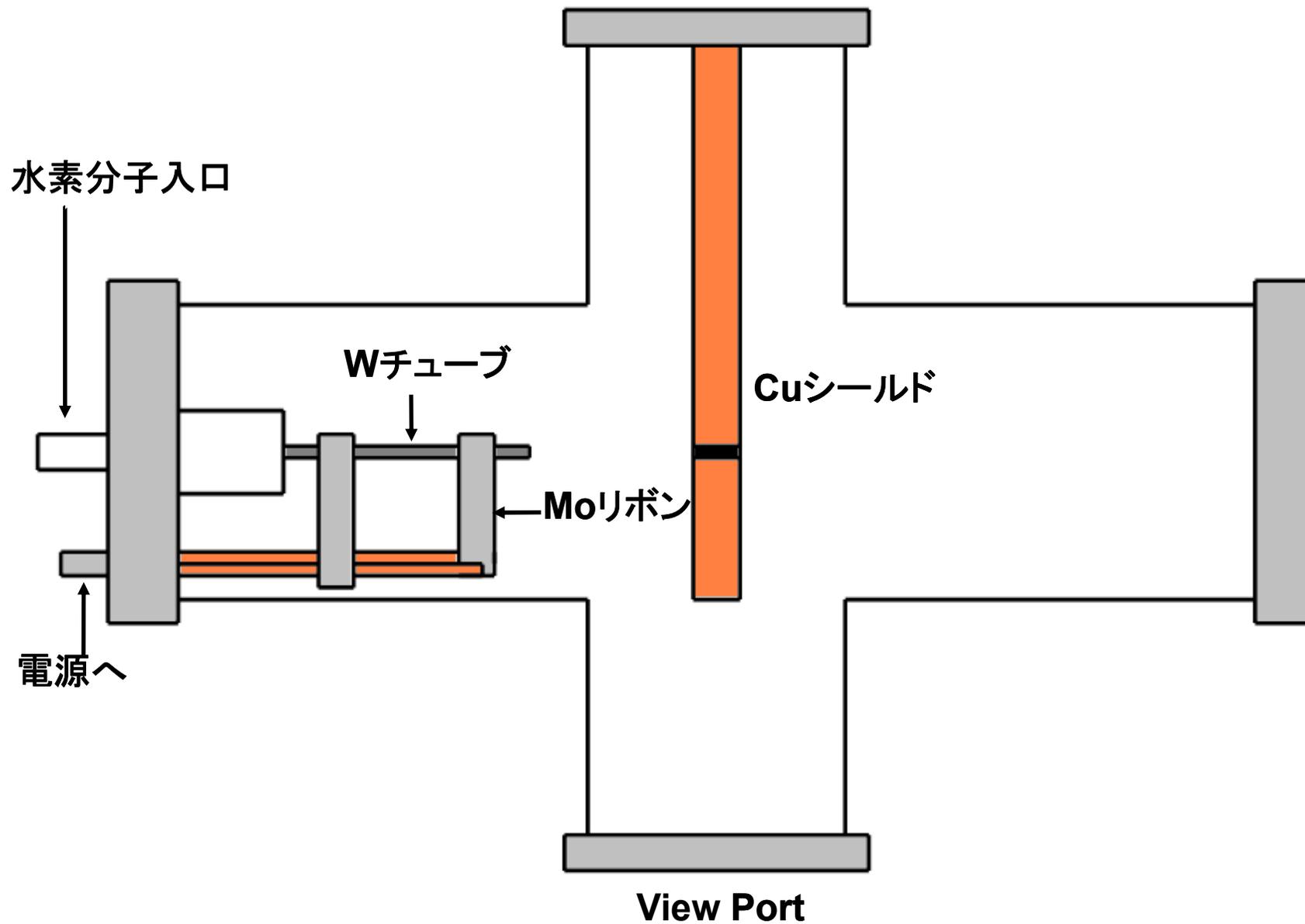
電源2号→電流の上限

電源3号→白煙が.....



代用は無理

水素原子発生源の断面略図(現時点)



第2段階

電子銃と測定器の作成

電子銃の作成

水素原子に電子をぶつけ、2sに励起させる

フィラメントからの熱電子を
電位差で誘導し水素原子ビームに当てる

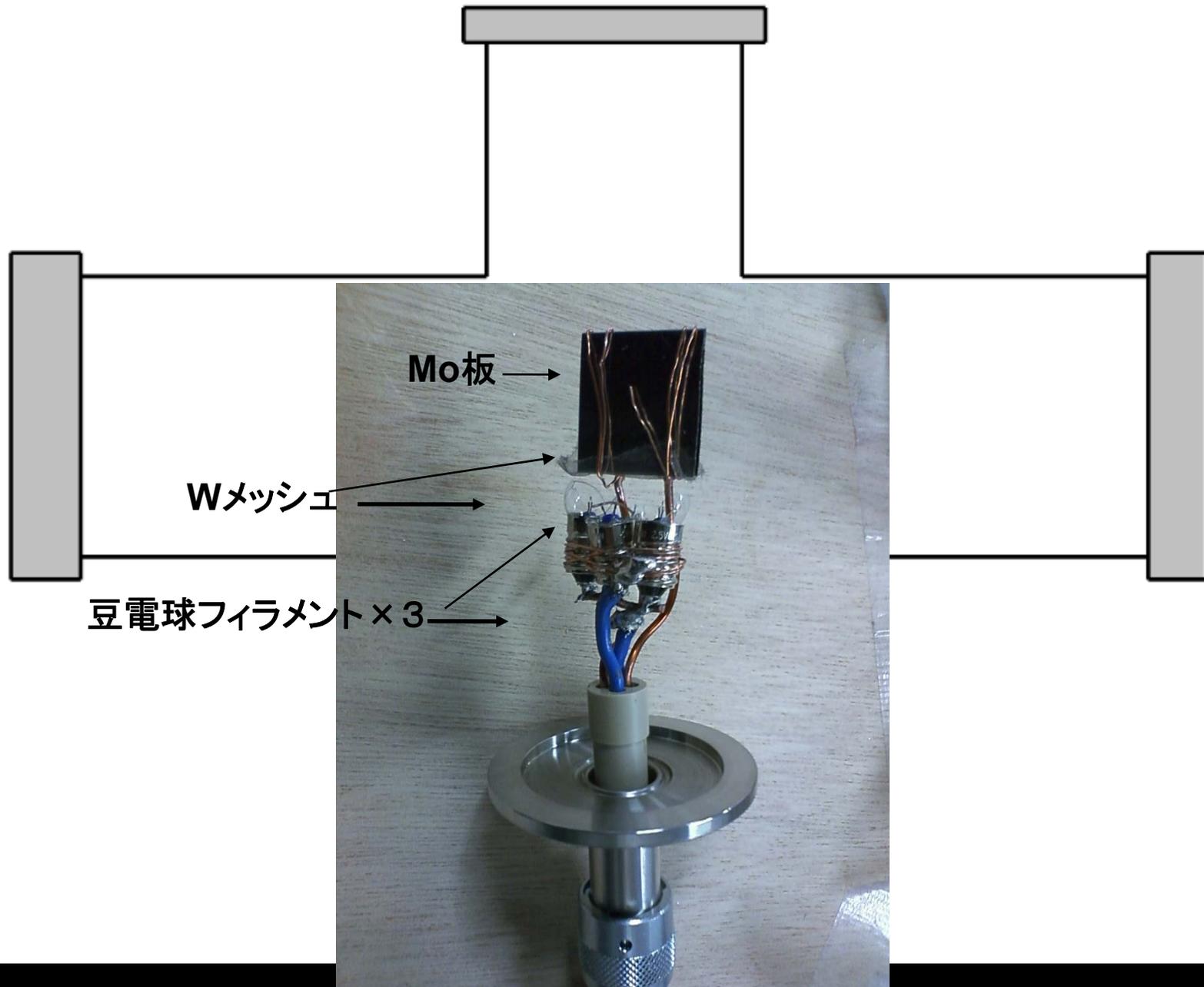
フィラメント:市販の豆電球

～低電圧で熱電子放出可能

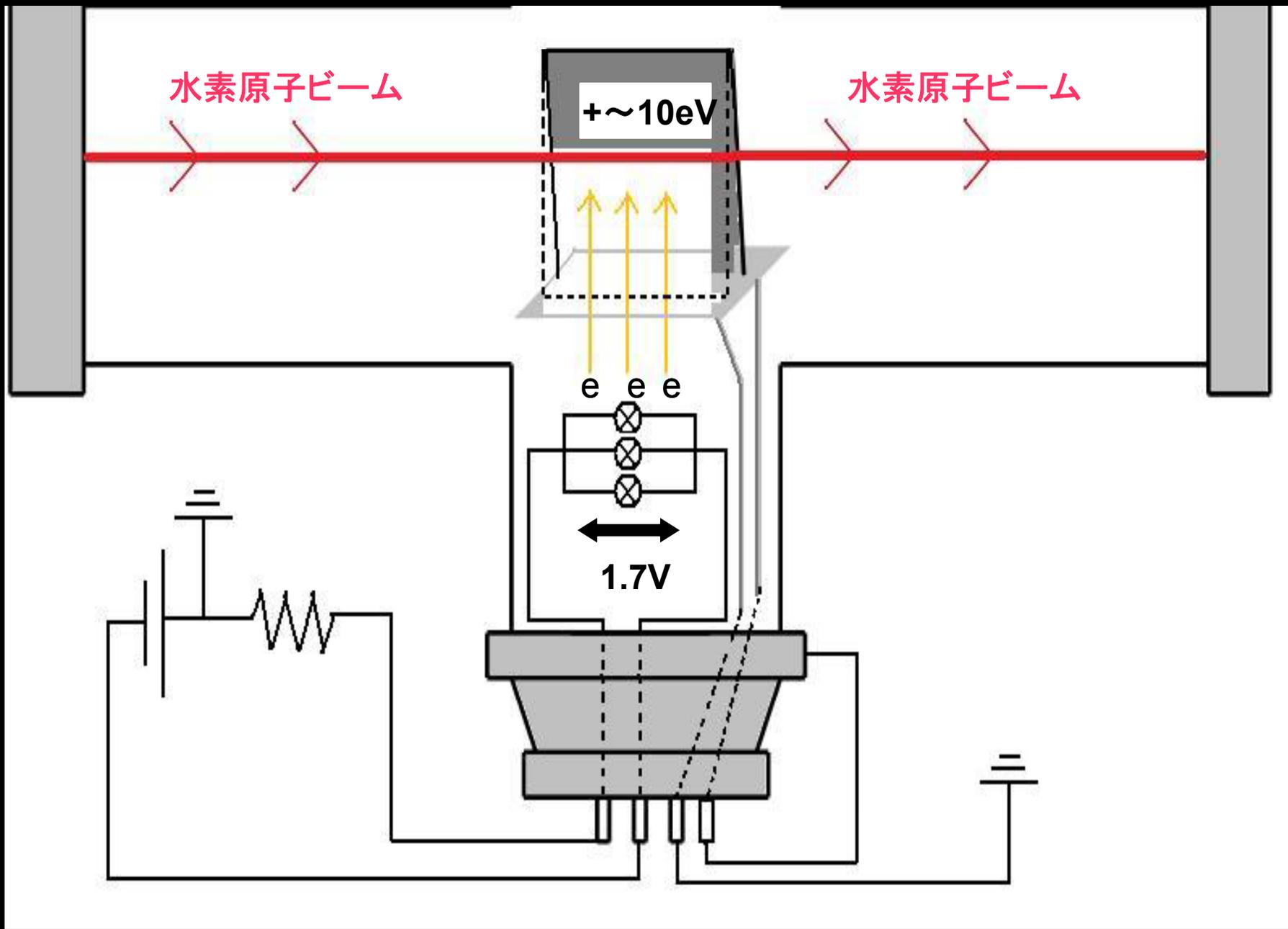
→両端間の電位差:小

→放出した電子のエネルギー:一定

電子銃の部分の断面略図



電子銃の回路図



測定器の作成

Lamb方式

水素原子をタングステン板にぶつける
→出てきた電子電流を検流計で計る

電流はpAオーダー

→ 測れるAmp + 検流計は高価
しかも誤差大

→別の方法

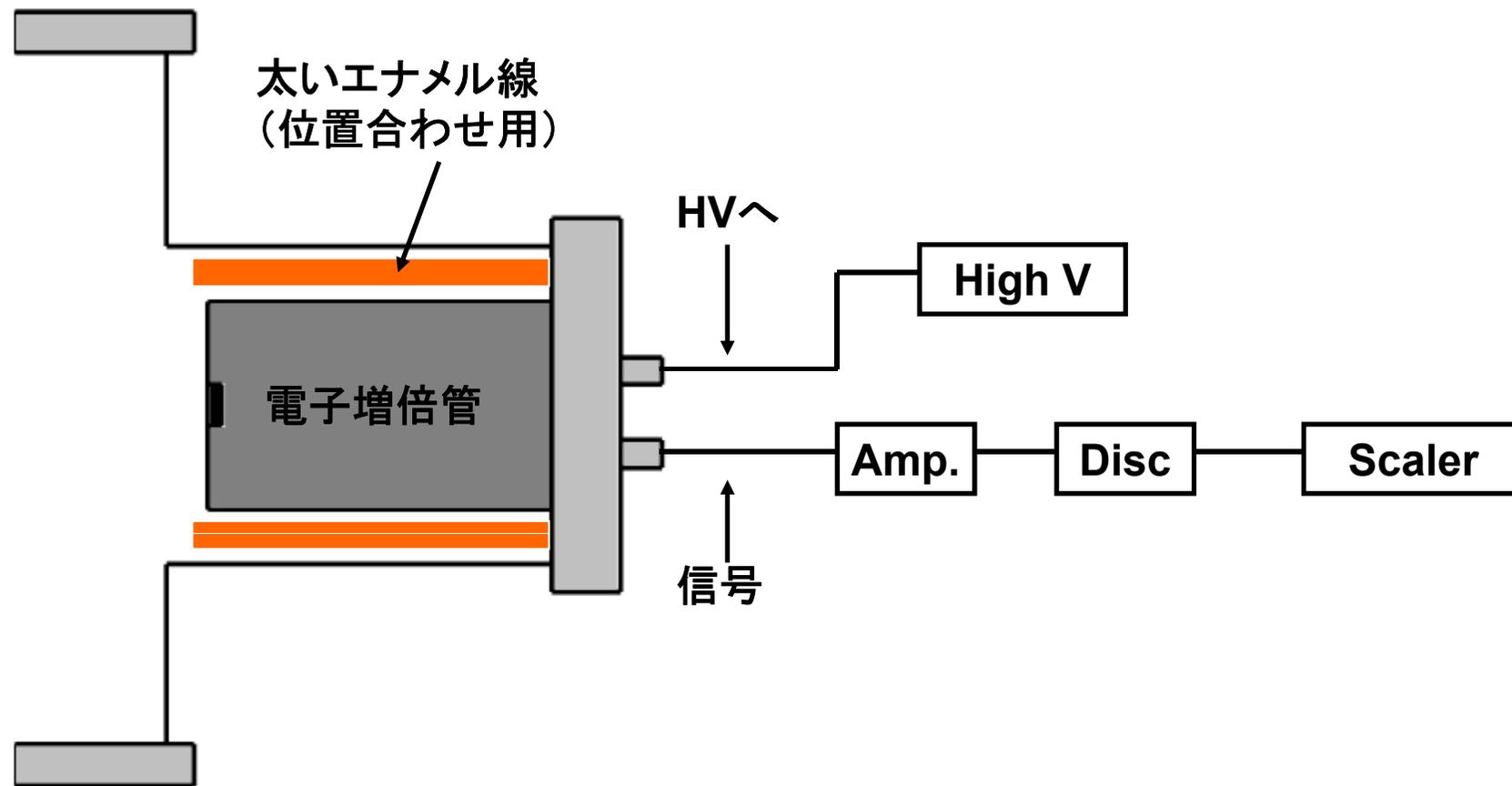
別の方法

電子増倍管のプレートに水素原子をぶつける
→ 電子が出て増倍される
→ 得られた信号は、Amp.を使い、Disc.を通して、scalerで数える

増倍管は、
入射側が0V
OUTPUTが+2000V
に設定

(ちなみに増倍管の動作真空度は 10^{-2} Pa以下
しかし水素を流すので少し高い気圧で動作させる)

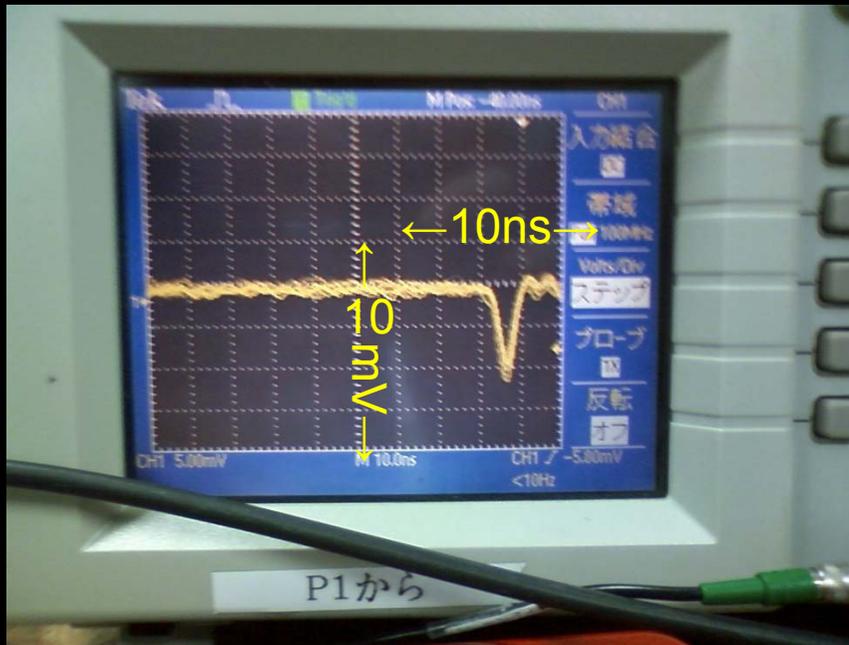
測定器の部分の略図





動作確認

電子増倍管の規格と実際に観測された信号のパルスの高さを比べて、正常に作動しているかを確認する。



- ・オシロは50Ω
- ・波形は三角形と思えば

電気量

$$\begin{aligned} &= (10\text{mV} / 50\Omega) \times 10\text{ns} \\ &= 2 \times 10^{-12} \text{ C} \end{aligned}$$

電子数

$$\begin{aligned} &= 2 \times 10^{-12} \text{ C} / 1.6 \times 10^{-19} \text{ C} \\ &= 1 \times 10^7 \text{ 個} \end{aligned}$$

オシロの波形から
計算した電子数

$$1 \times 10^7$$

増倍管のゲイン
(2000V作動時)

$$5 \times 10^6$$

(荒っぽい計算では)

だいたいあってる



正常に動いているとする

注意

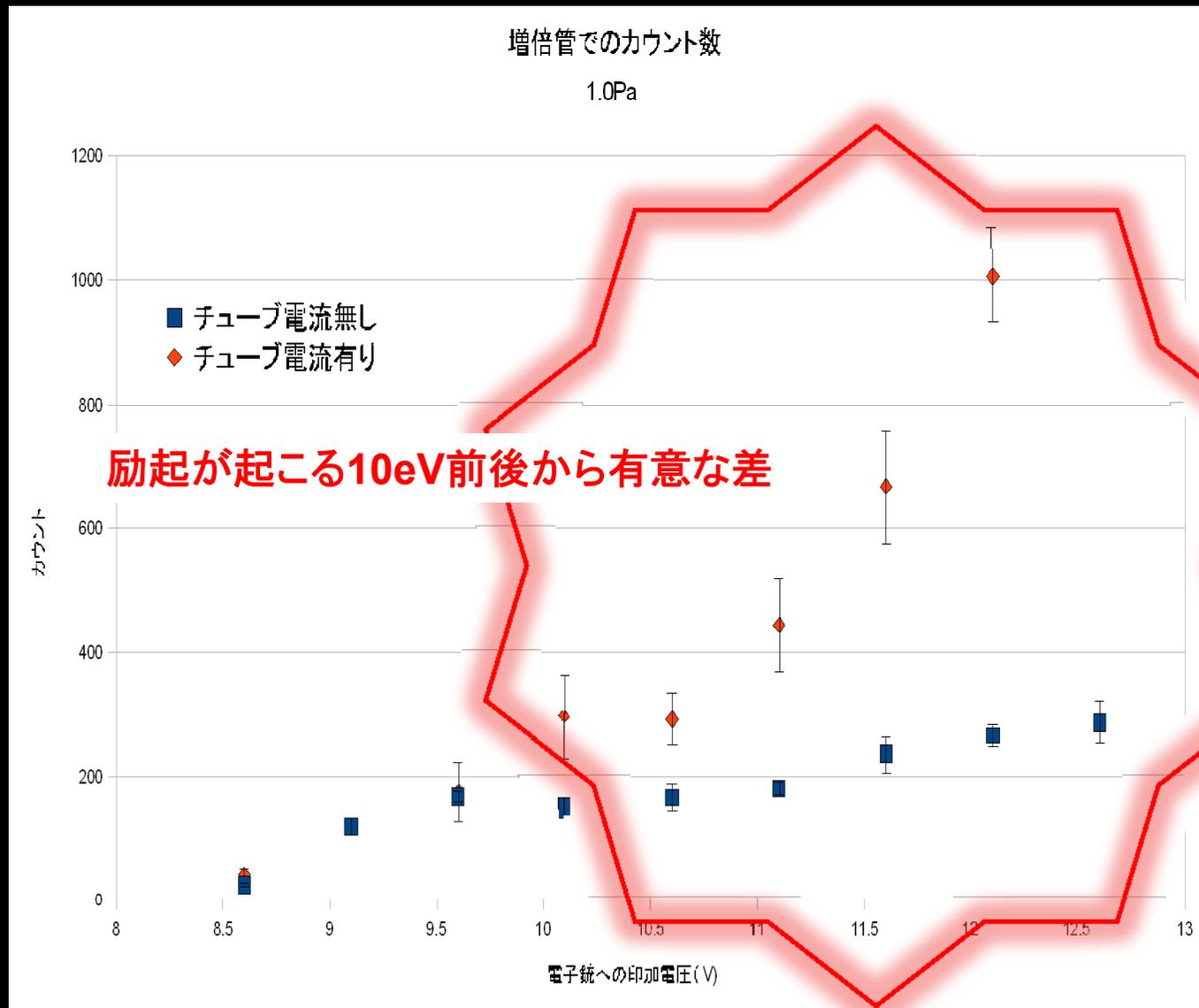
実験中の真空度(気圧)は推奨値よりも

0~2桁大きく、正常に作動しているか定かではない。

しかし、とりあえず死んではなさそう。

結果

2S水素原子の検出!?



まとめ
今後の展望

我々の成果

- ・水素原子ビームの作成に成功
- ・水素原子を1sから2sに励起
(信頼度は高いとは言えない)

課題

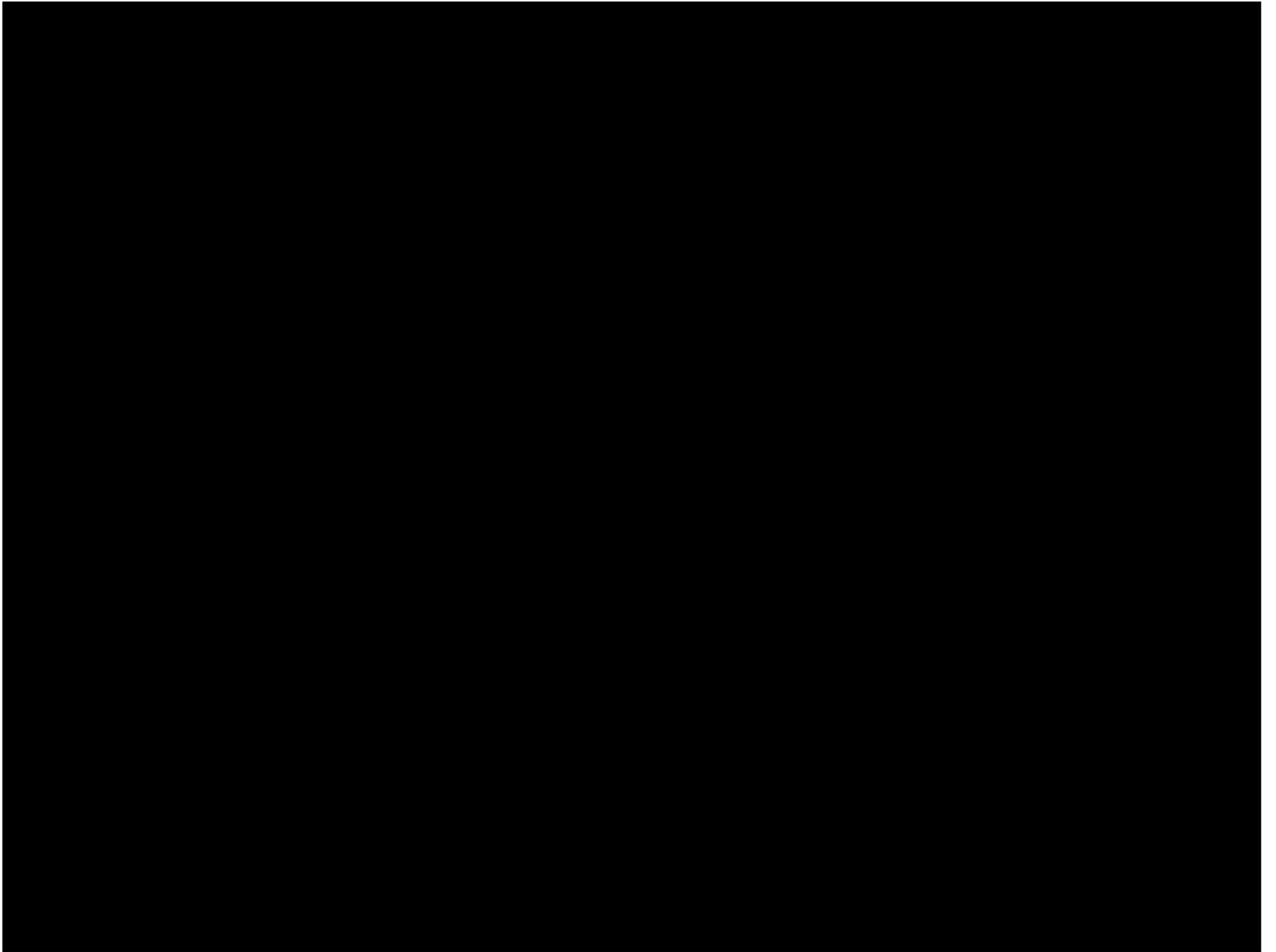
- ・水素原子源の安定性の問題
 - ・電子をぶつけて温める方式への変更
(絶妙な設計が必要)
 - ・チューブの配置を縦にする
 - ・水素原子源を買う(~1Myen)
- ・検出器のノイズの問題
 - ・電子銃のグラウンド電流の処理
 - ・電子増倍管を規格の動作気圧で使う
 - ・電子増倍管をやめる
 - タンゲステンの板 + pAオーダー電流のアンプ

今後の展望

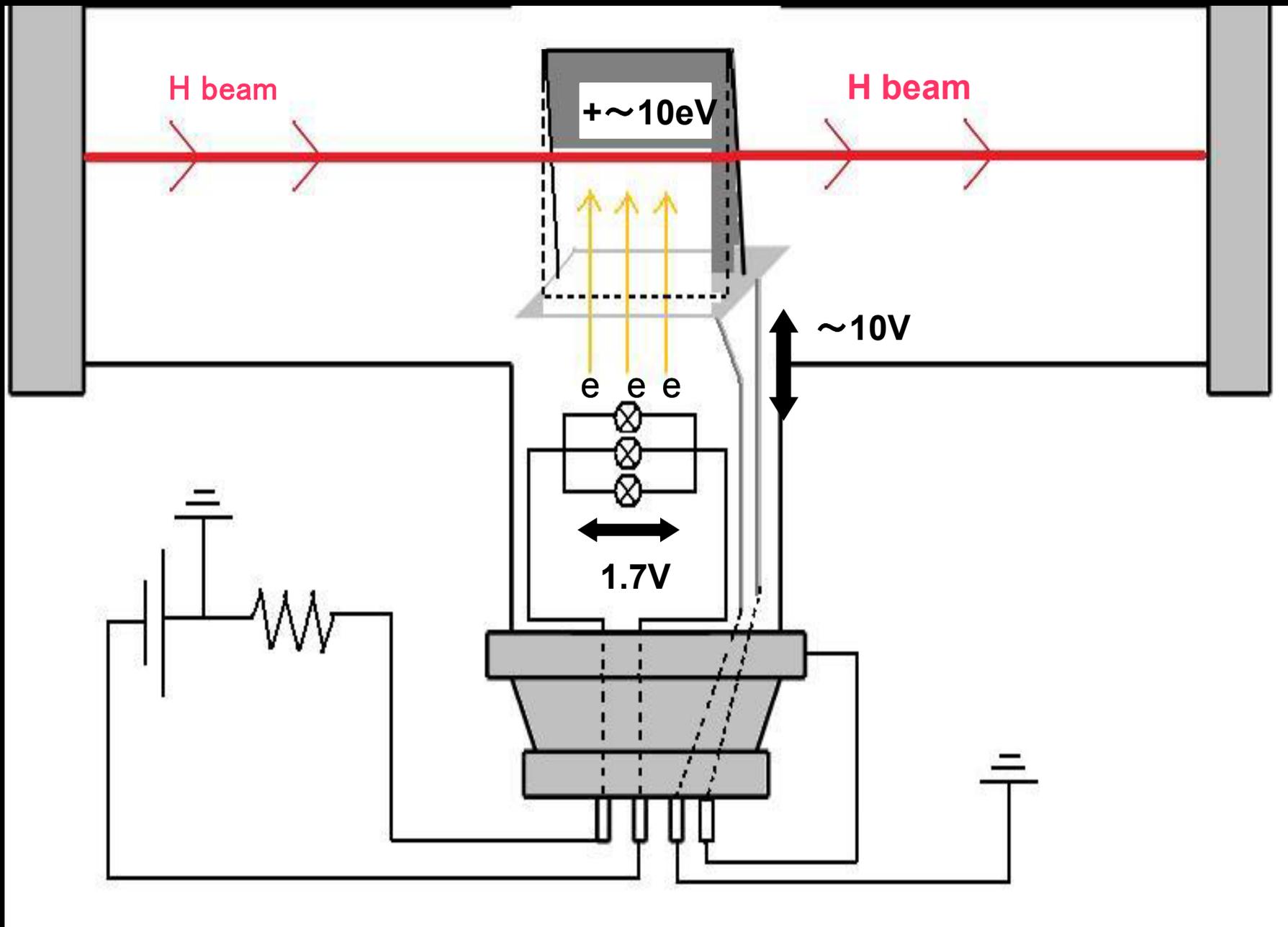
- ・水素原子源の安定化
- ・検出器のノイズの軽減
→安定した2s水素原子ビームの確立

RFとマグネットの作成

これらをクリアすれば
Lamb shiftの測定が可能



電子銃の回路図



電子銃の回路図

