

Lamb shiftの測定に向けて (昨年のP1のつづき)

酒井 佐藤 杉下
野坂 濱田
福田

実験目的

前年度、Lamb shiftを検出することを目的に
始まった実験を引き継ぎ、進展させる。

前年度、うまく励起水素原子をつくり、
検出できたと結論してあったが、どうやら
ただのノイズを見ていただけのようなので、
ほぼ一からのスタートとなった。

実験概要

Lamb shiftとは、QEDで説明される

水素原子の $2s_{1/2}$ と $2p_{1/2}$ のエネルギー準位の差

Dirac理論



$2s_{1/2}$ は準安定

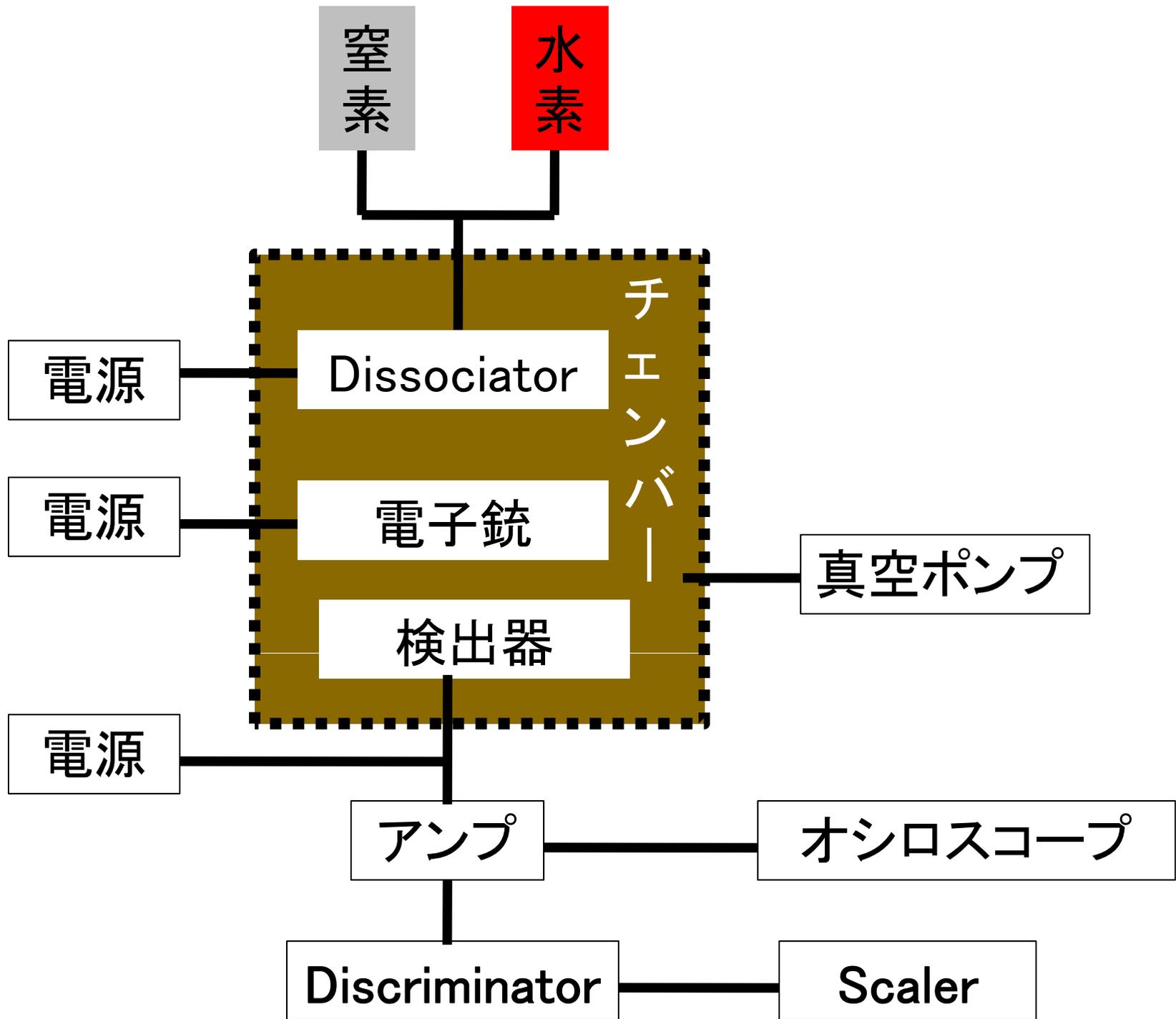
$2p_{1/2}$ は不安定
すぐに基底状態に落ちる

Lamb shiftの測定に向けて

水素分子  $2s_{1/2}$ 水素原子

今回はここまでしか
できなかった

今回の実験で到達したところまでを簡単に説明する。





真空を引く

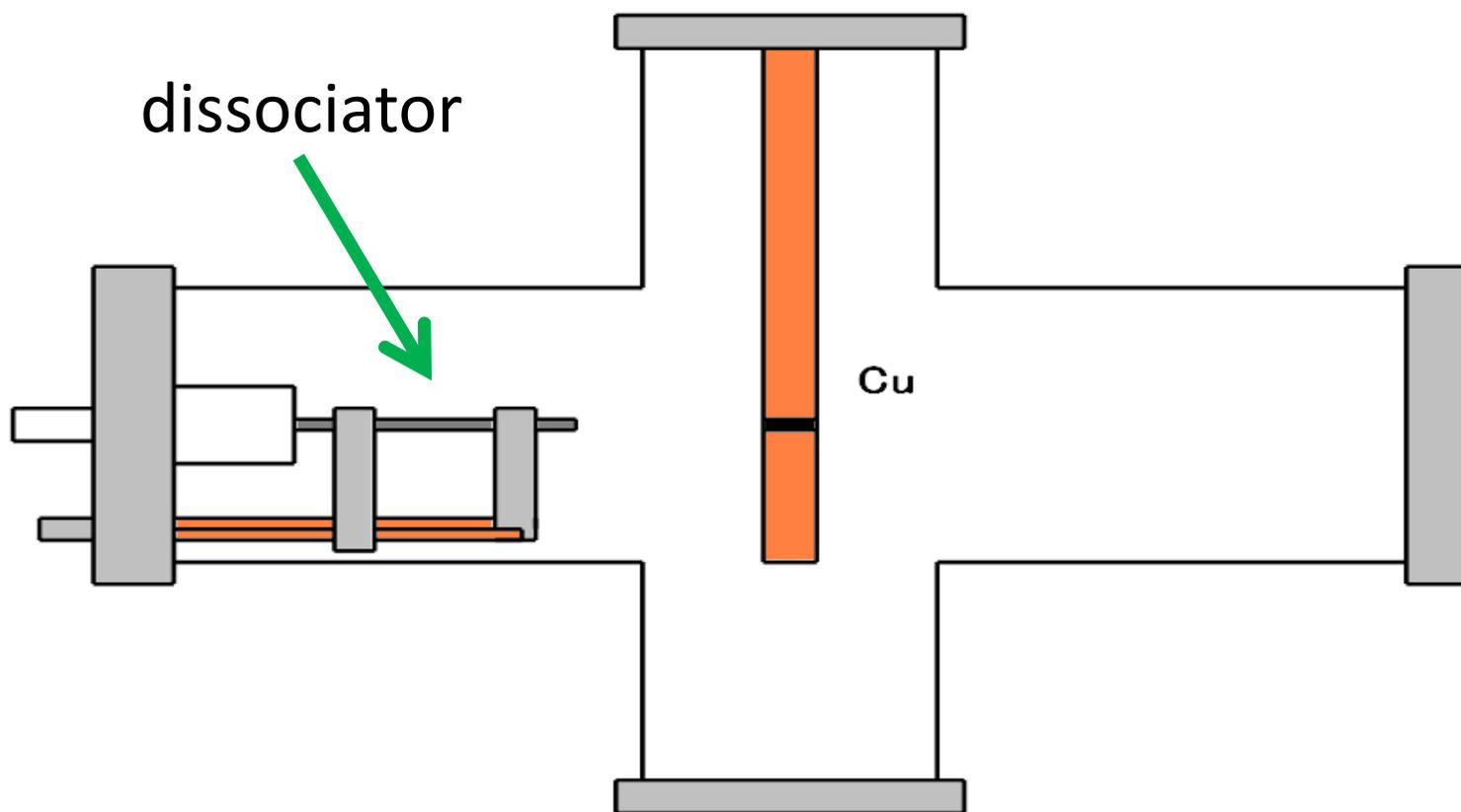


dissociator

水素分子流を、熱したタングステンチューブに通すことで水素原子に解離させた。



チェンバー内のdissociatorの様子

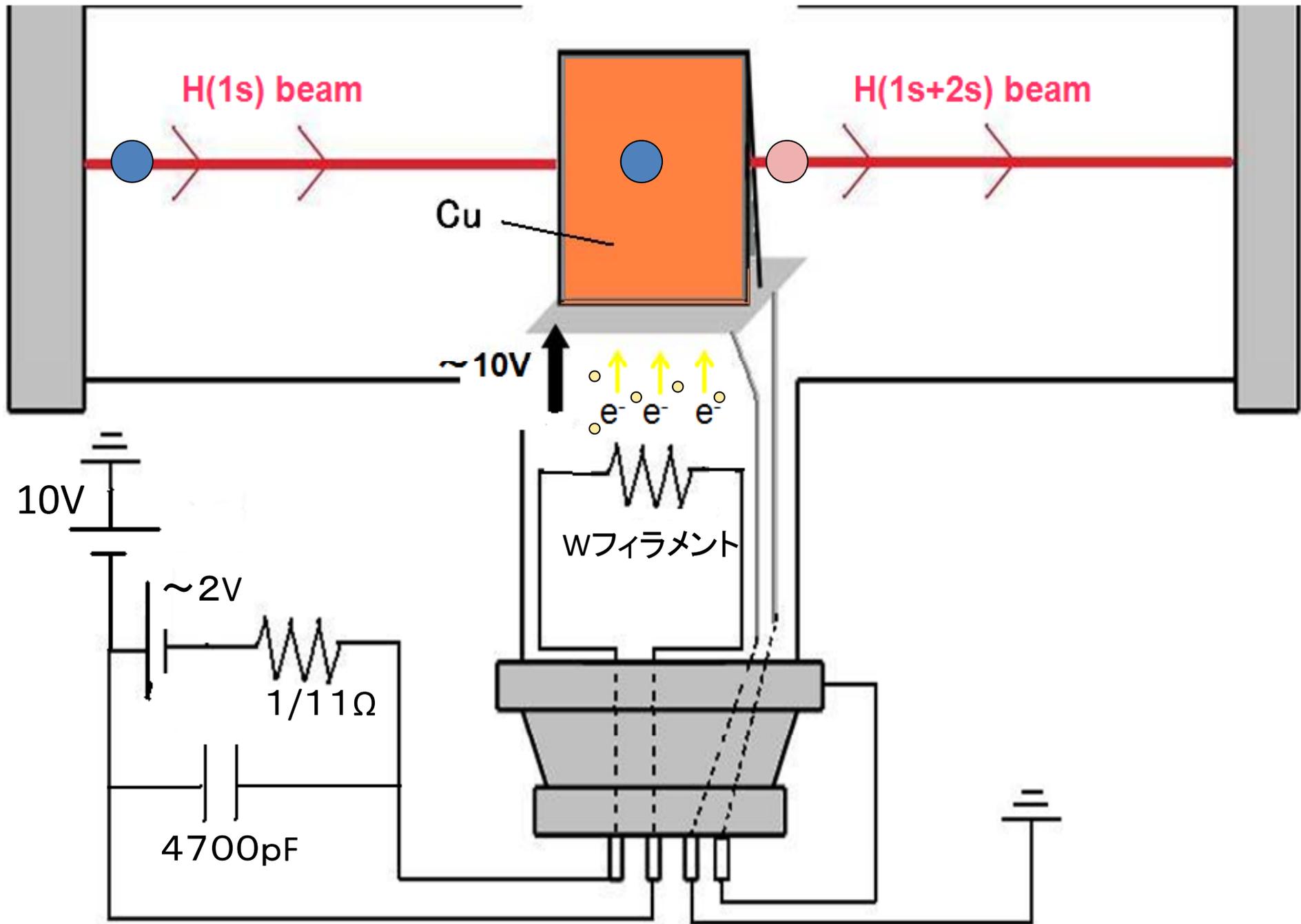


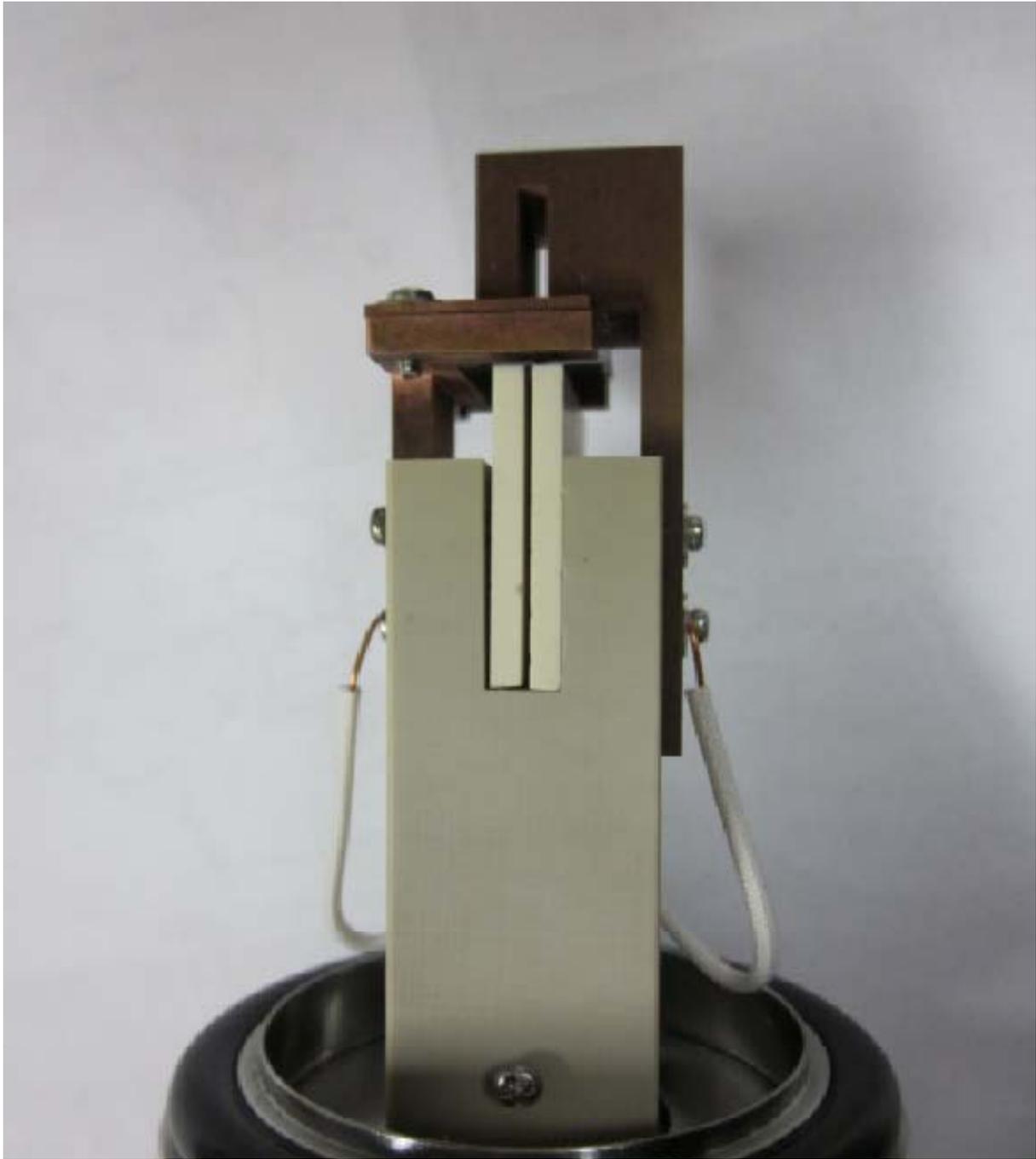
およそ2500K



電子銃

水素原子に加速した電子ビームを照射して、 $2s_{1/2}$ 軌道へと励起させた。

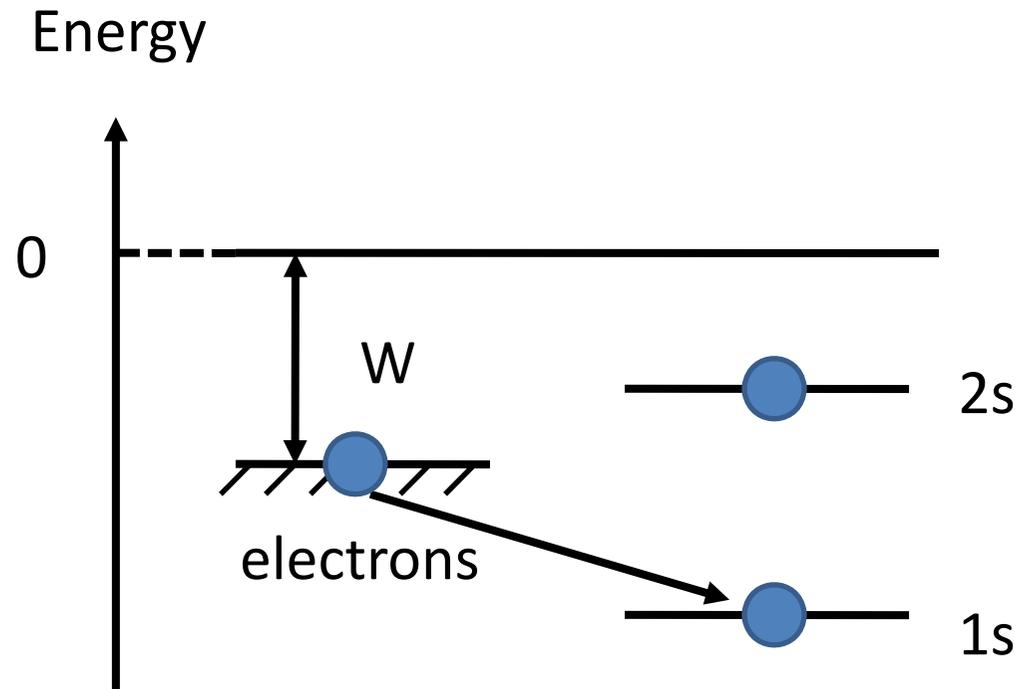




検出器

水素原子の基底状態には反応せず、励起状態だけ検出する検出器(電子増倍管)を用いて、水素原子の励起を確認した。

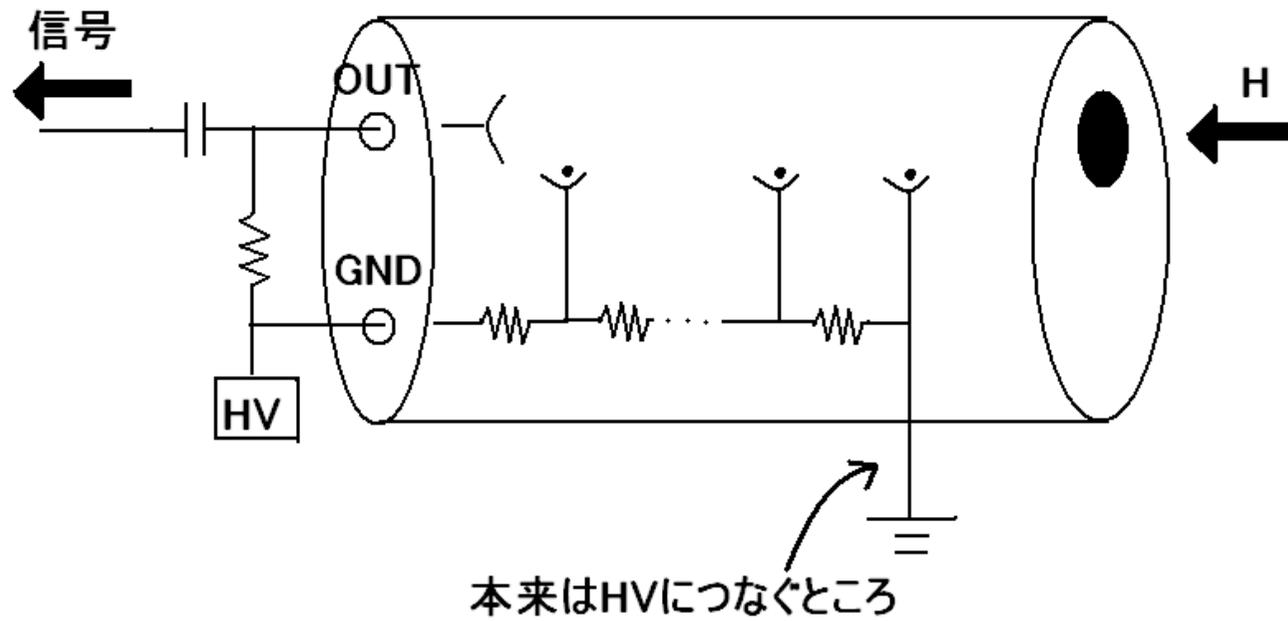
2s水素原子を検出する原理



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の水素が増倍管
内の金属に当たると
左の機構で電子を
放出する

電子増倍管の模式図



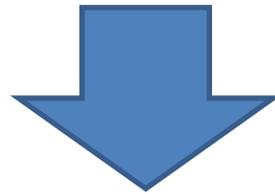
今回はここまで

この先の予定では

$2s_{1/2}$ 軌道の水素原子に周波数を変えながら rf を当てる。

$2s_{1/2}$ と $2p_{1/2}$ 間のエネルギー差に対応した周波数の rf をあてると、水素原子は遷移する。

$2s_{1/2}$ 軌道は準安定、 $2p_{1/2}$ 軌道は不安定なので 遷移がおこればカウント数が少なくなる。

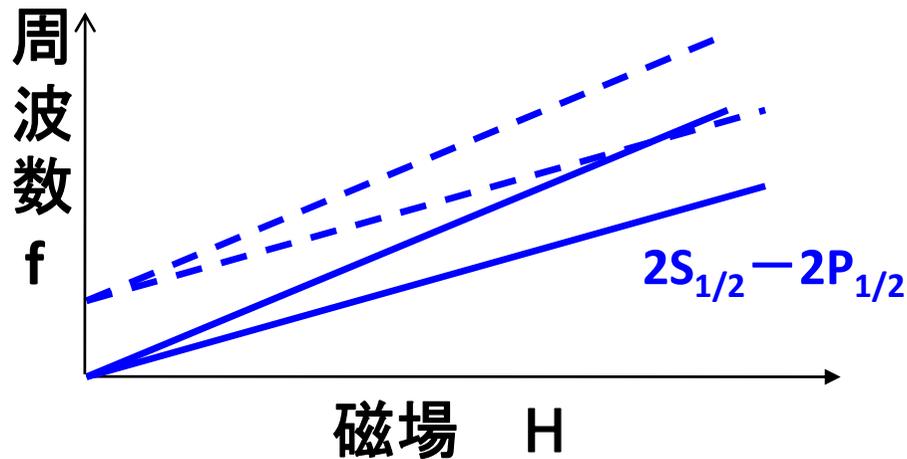


カウント数が少なくなる周波数に対応するエネルギーが Lamb shift

Lambの論文では、rfの周波数を変える代わりに、大きな電磁石を用いて水素原子に磁場をかけ、Zeeman効果によってエネルギー準位を変化させて実験していた。

Zeeman効果でLamb shiftを見る

— 実線はDirac理論
- - - 破線はLamb shift込み



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

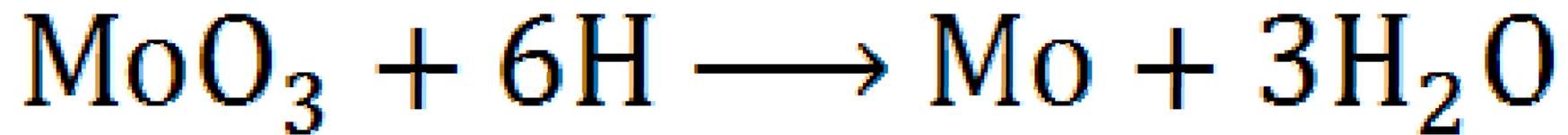


当てるrfに対応した磁場の強さが求まる

実験の様子

Dissociatorを使って
水素分子を水素原子に

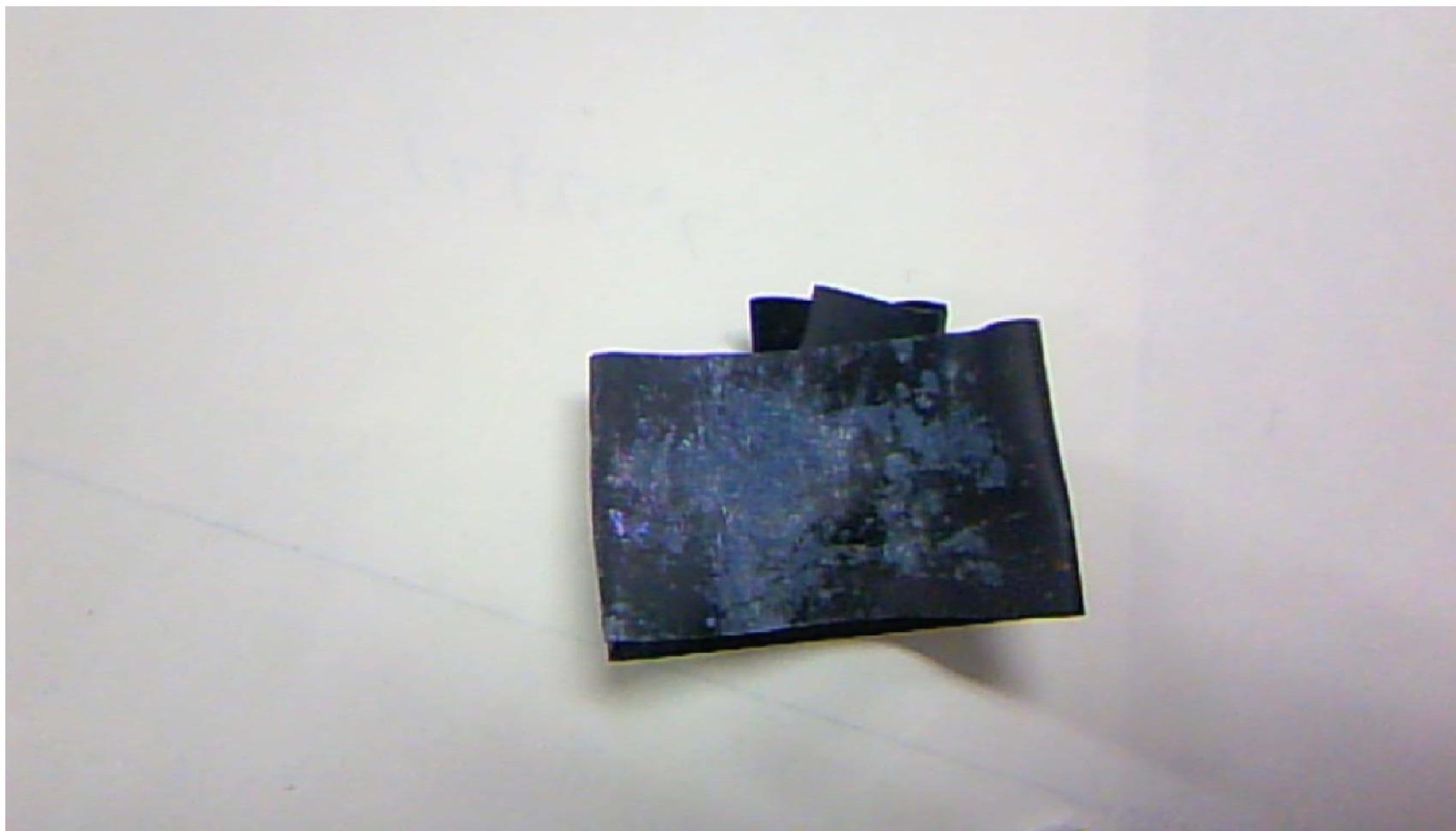
実際にできているか確認



反応前のモリブデン



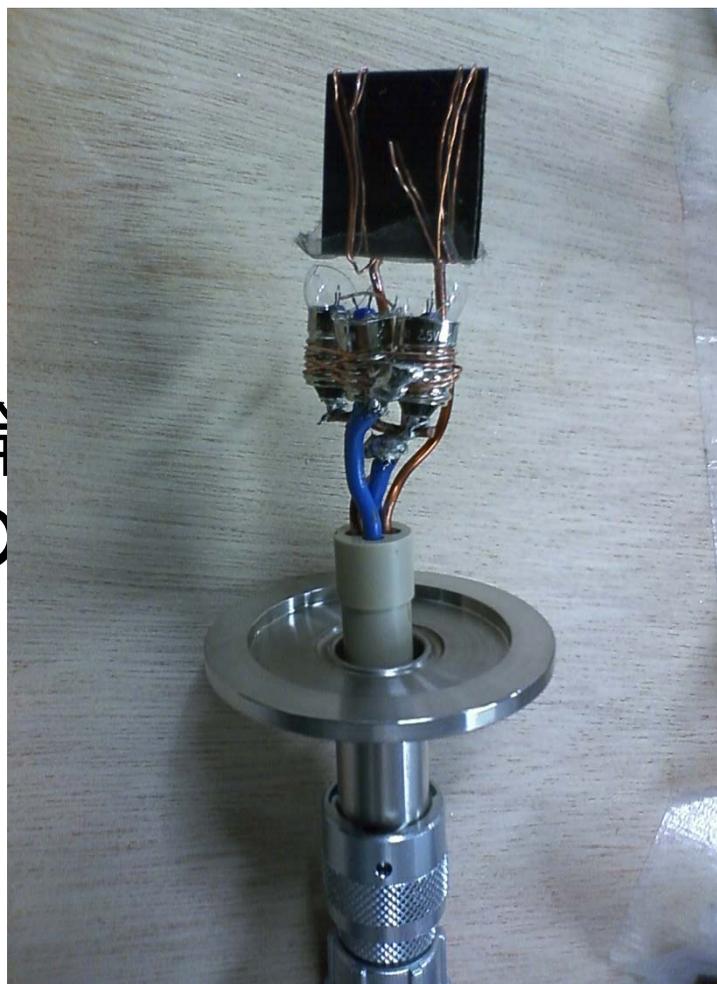
反応後のモリブデン



水素原子はできている

電子銃

- 去年は豆電球のフィラメントを使っていた。

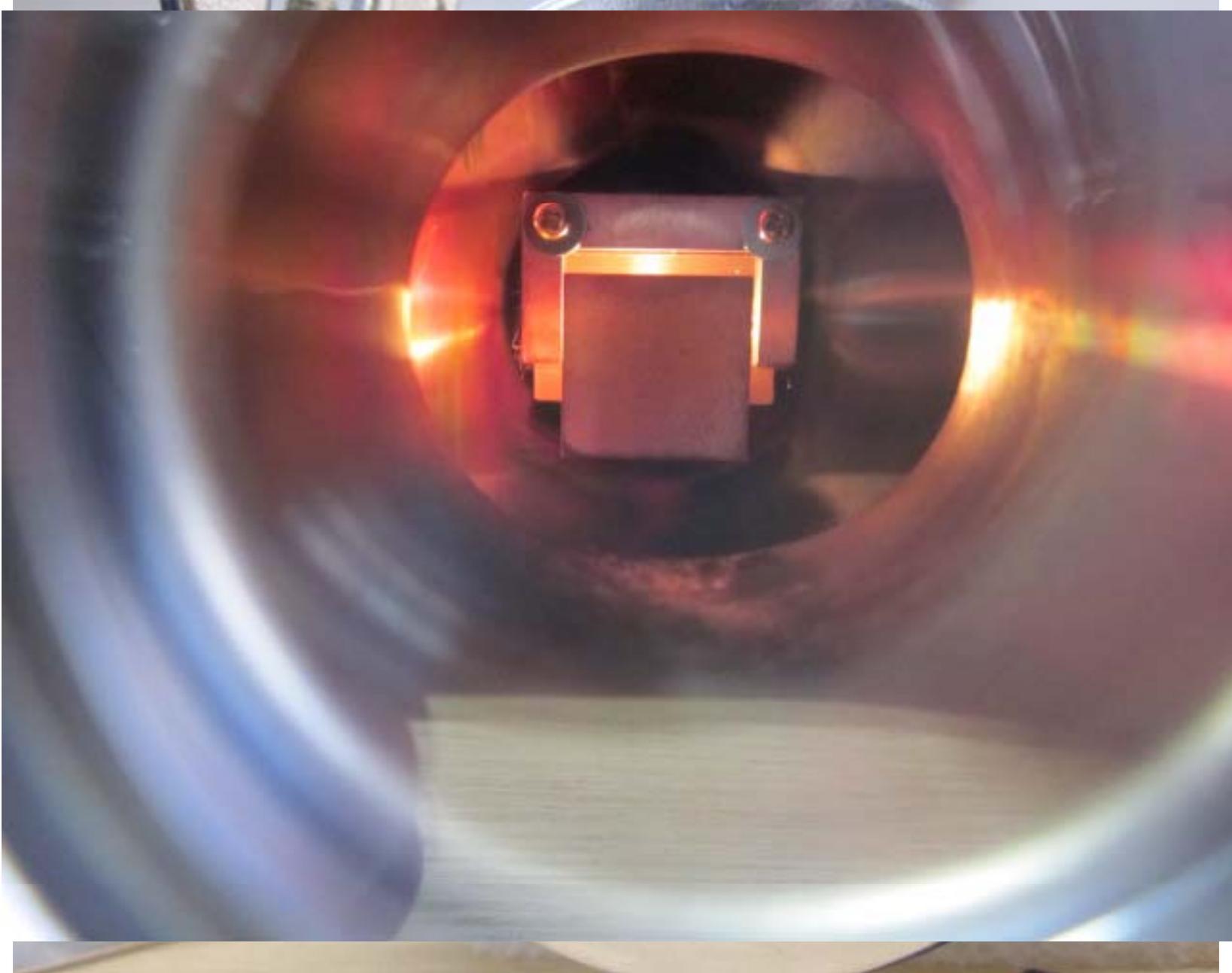


- Lambの論
用いたもの

ンワイヤーを
した。

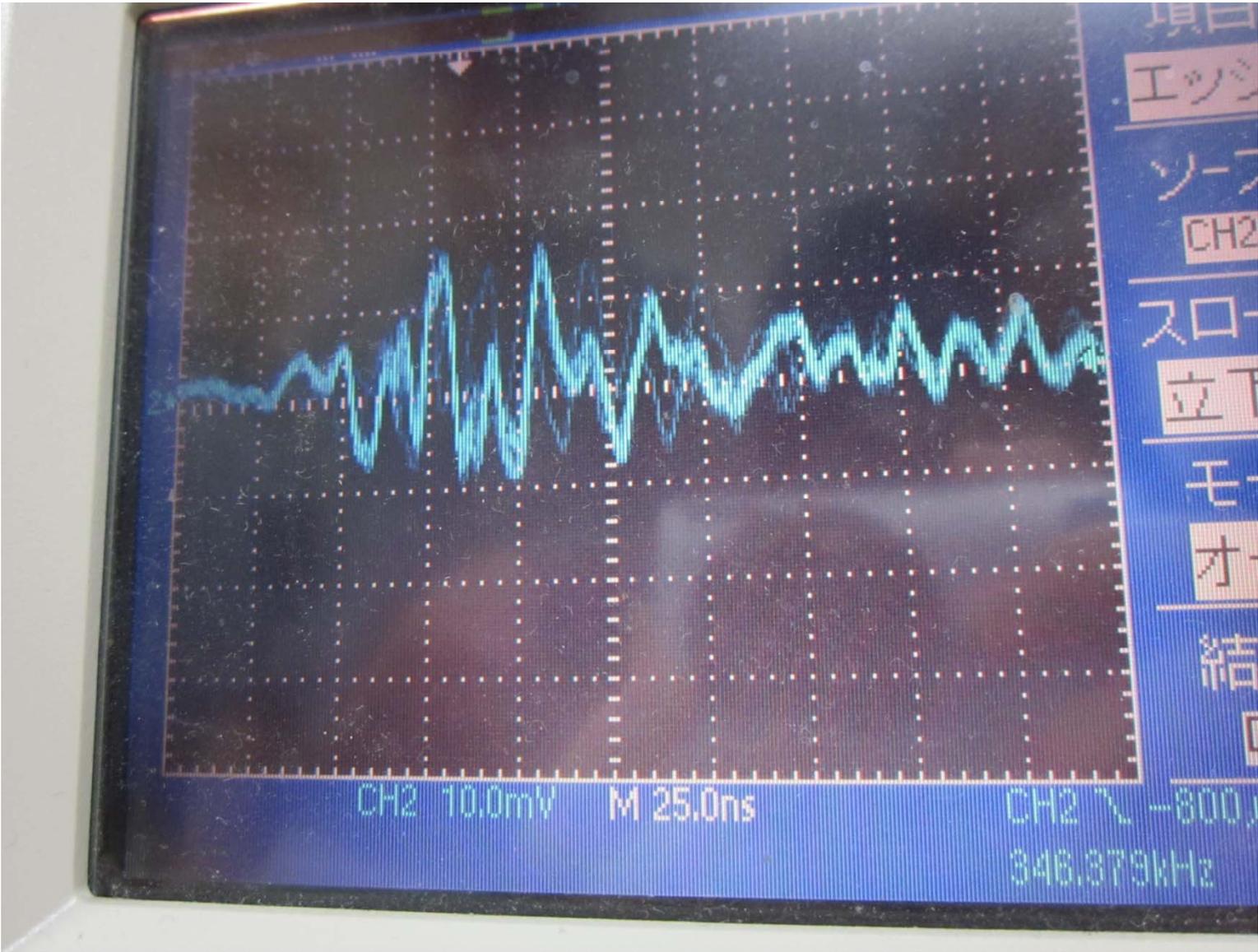
電子銃





まず出てきた問題

→ ノイズが多すぎる



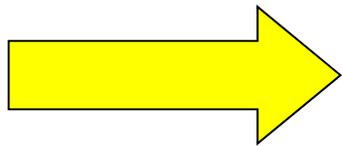
項目
エッ
ソー
CH2
スロ
立
モ
オ
結
口

CH2 10.0mV M 25.0ns

CH2 ~ -800

346.379kHz

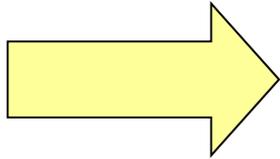
- 配線や回路に少し触れただけでノイズがかなりのってしまう



おもりを乗せて回路を動かないようにした



- 全く信号らしきものがないが。。。

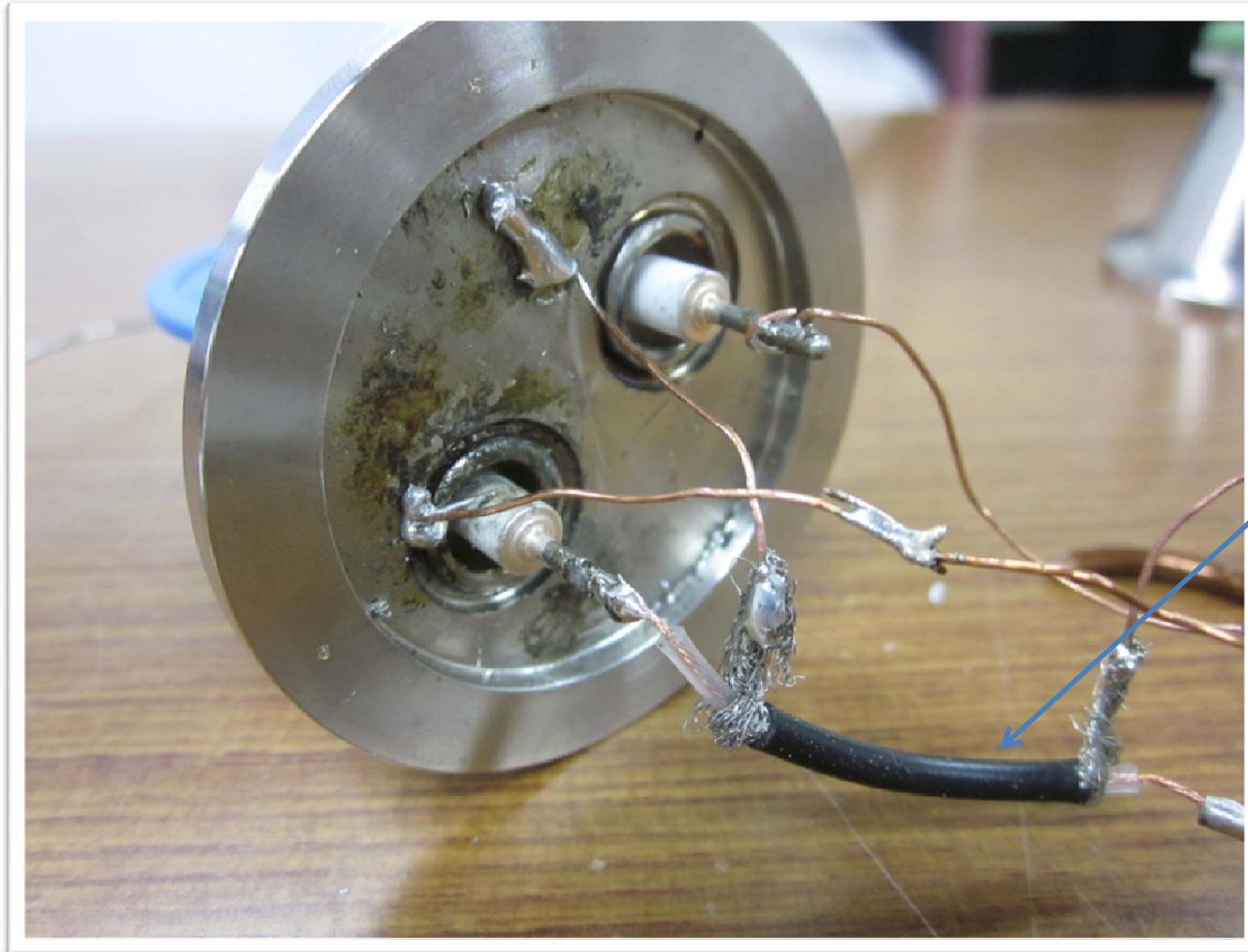


配線をチェックすると、電子増倍管との接合部分がとれている！！

さらに、配線が(HVとつながるものも！！)はだかの線でつながっていた。

ショートを防ぎ、信号をキレイに見るため、グラウンド以外の線は同軸ケーブルに付け替えた。

また、取れていた部分にははんだ付けしなおした。

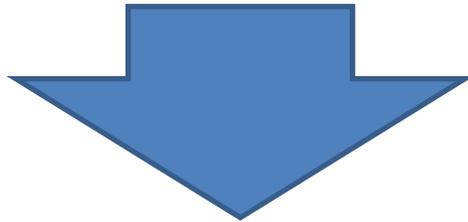


同軸ケーブル

同軸ケーブルによって配線した図

しかし...

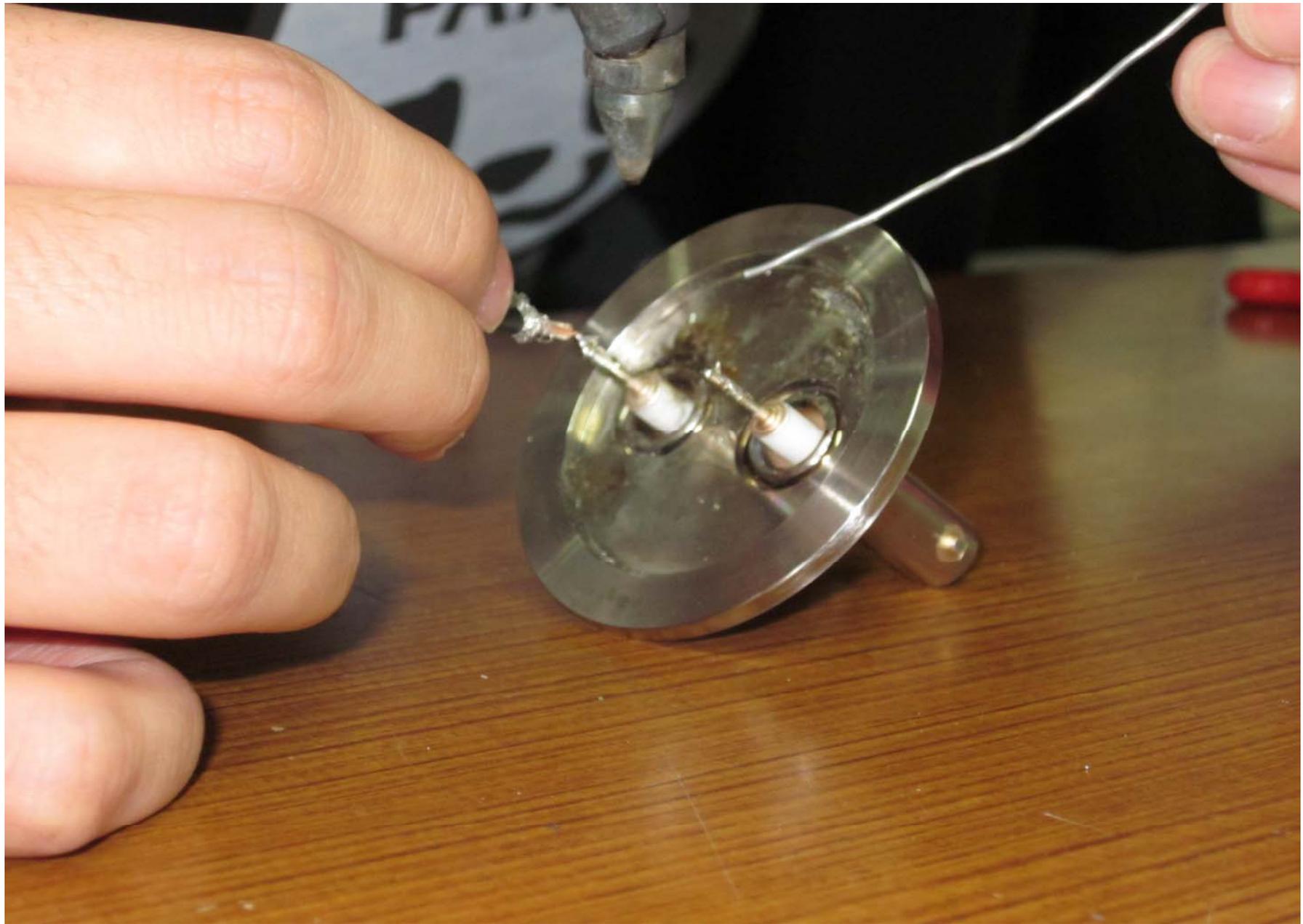
電子増倍管に高い電圧(2000V)を
かけると
同軸ケーブル内でショートしてしまっ
た



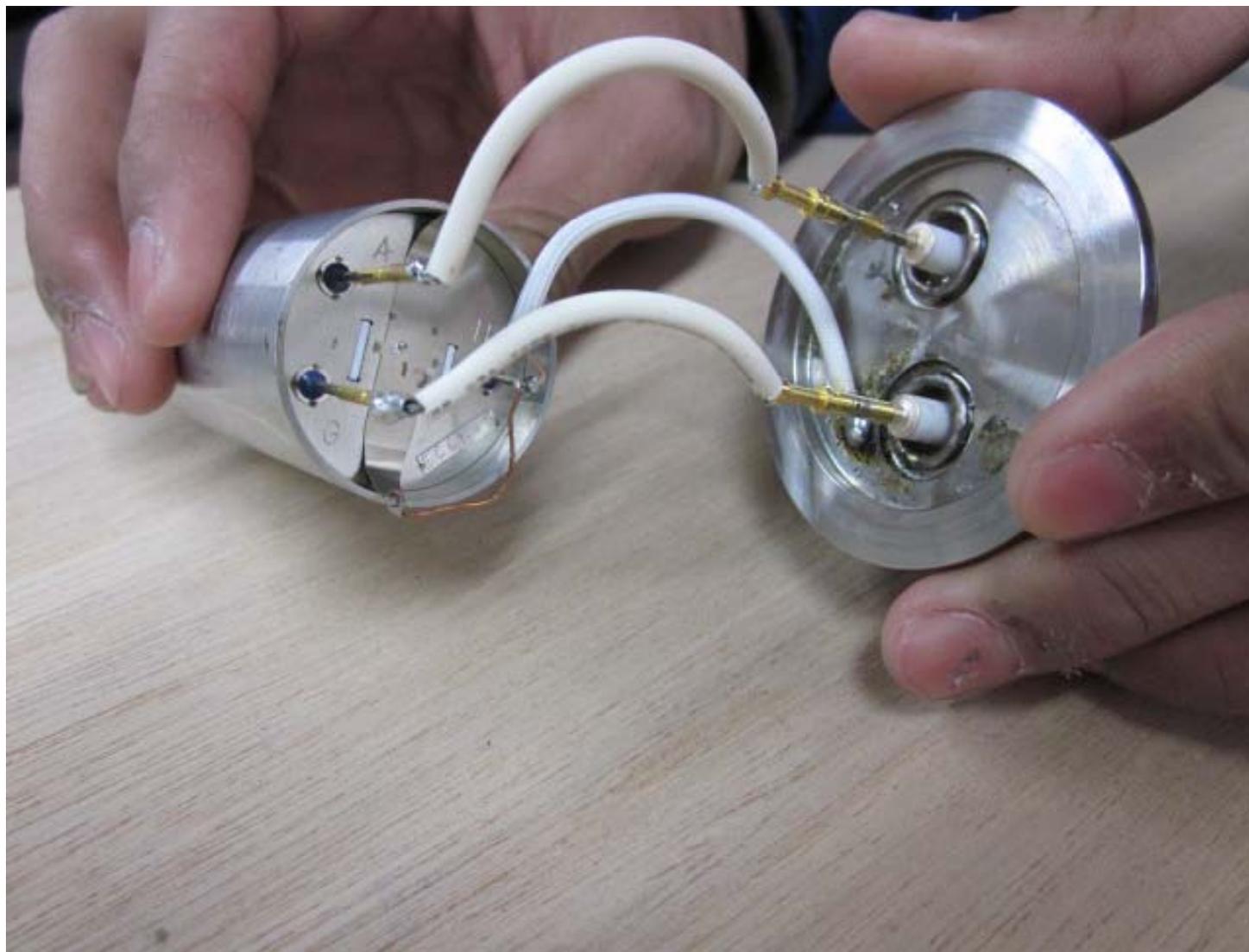
同軸ケーブルから高電圧に耐えうる
ケーブルに変更
更に、グラウンド線に関しても線同士
の接触を避けるために導線をガラス
ウールで被覆した

はんだ付けの様子





ハンダ付け(完成型)



ガラスウールで被覆
されたグラウンド線



変更した配線

高電圧に耐えるケーブルに変更

前述のような改善を行ったら、

信号は見えた！！

しかし、

ノイズは消えなかった！！

取入中

トリガ待ち



モードと
ホールドオフ

オート
(トリガなし
ロール)

ノーマル

ホールドオフ
(時間)
250

ホールド
(レコード
に対する%)
250.80000%

最小値に
リセット

3 Ch1 1.00mVΩ
Ch3 10.0mV Ω

M 10.0ns A Ch1 \sim -1.86mV

41.80%

トリガ種類
エッジ

ソース
Ch1

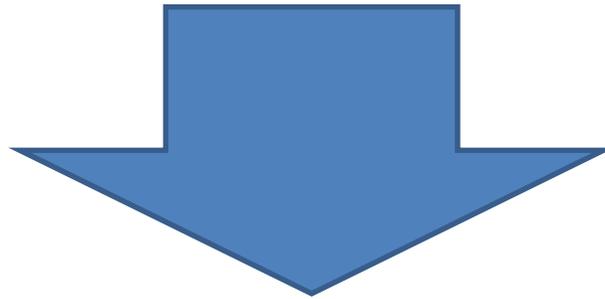
結合
DC

スロープ
 \sim

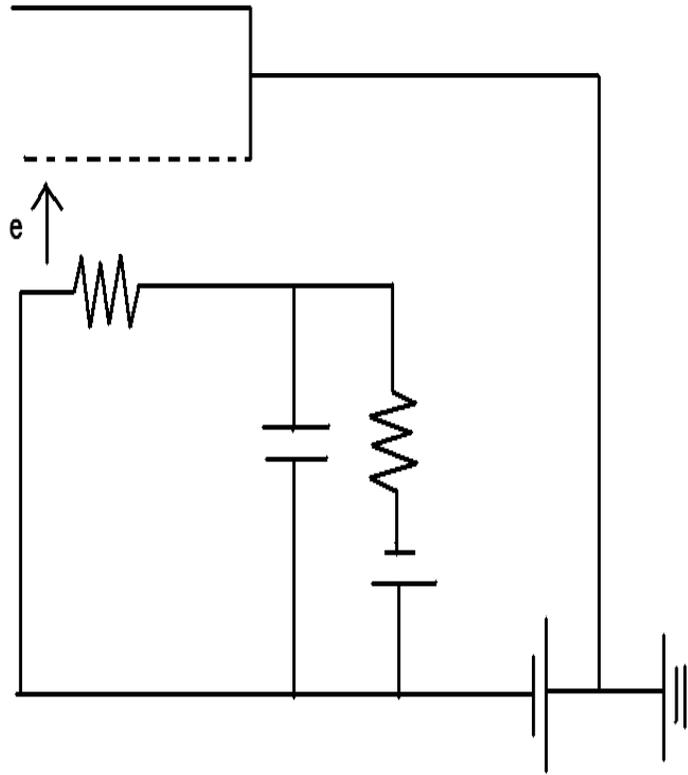
レベル
-1.86mV

モードと
ホールドオフ

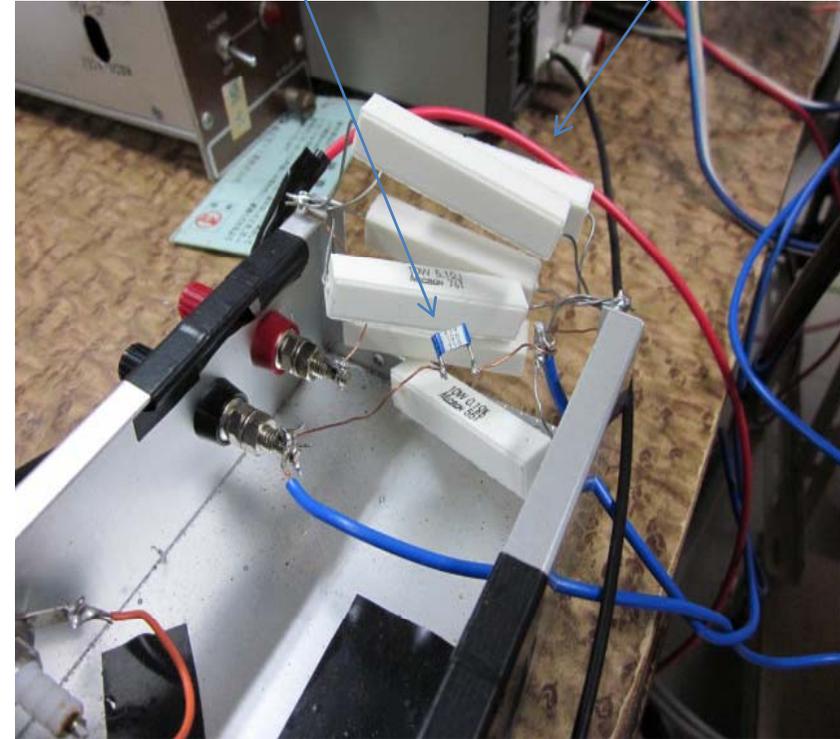
様々な試行錯誤から
原因は電子銃近辺にある模様



電子銃の回路に
ローパスフィルタを挿入！



電子銃の回路図

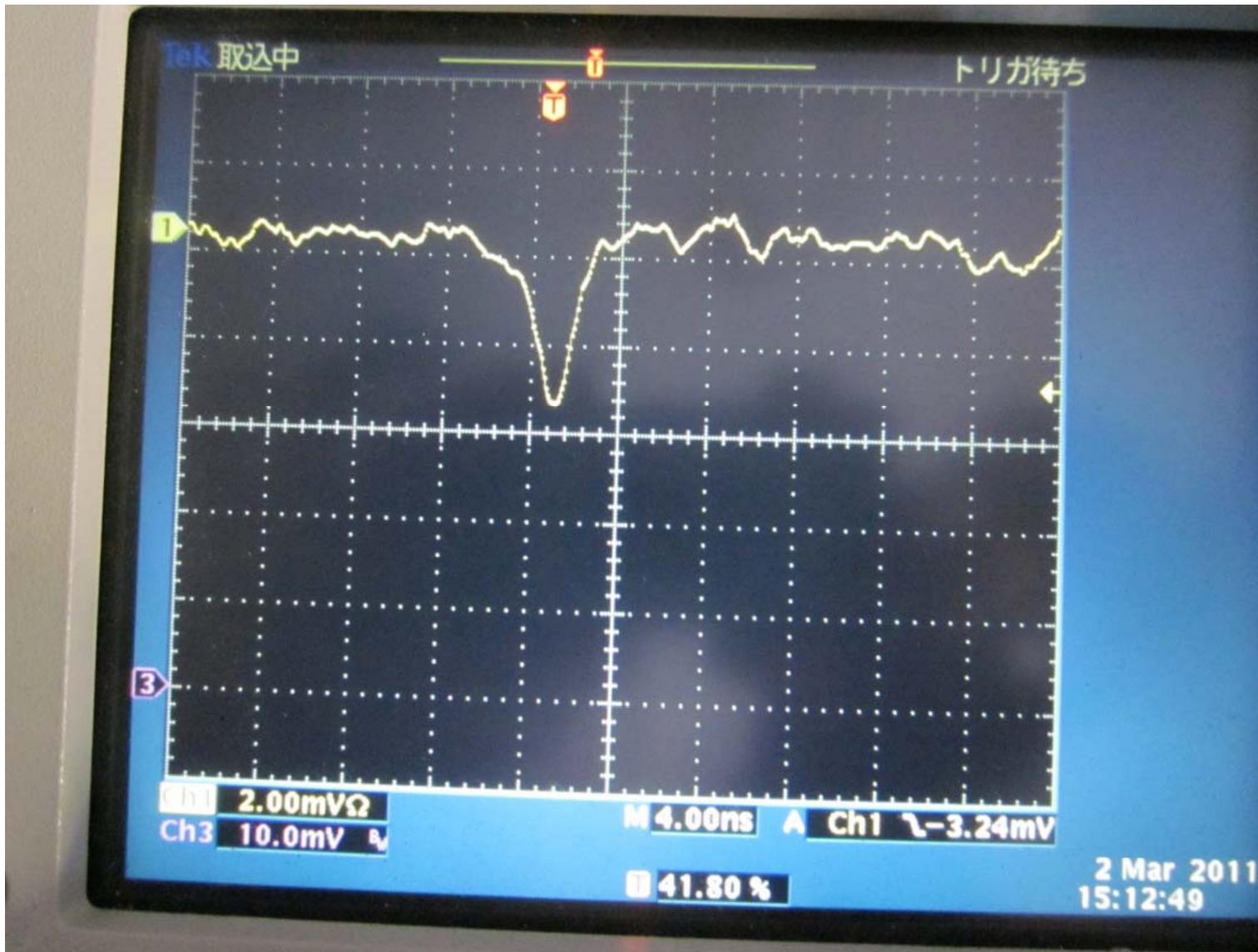


回路の写真

以上のような改良を行った結果

信号が見えた！！！！

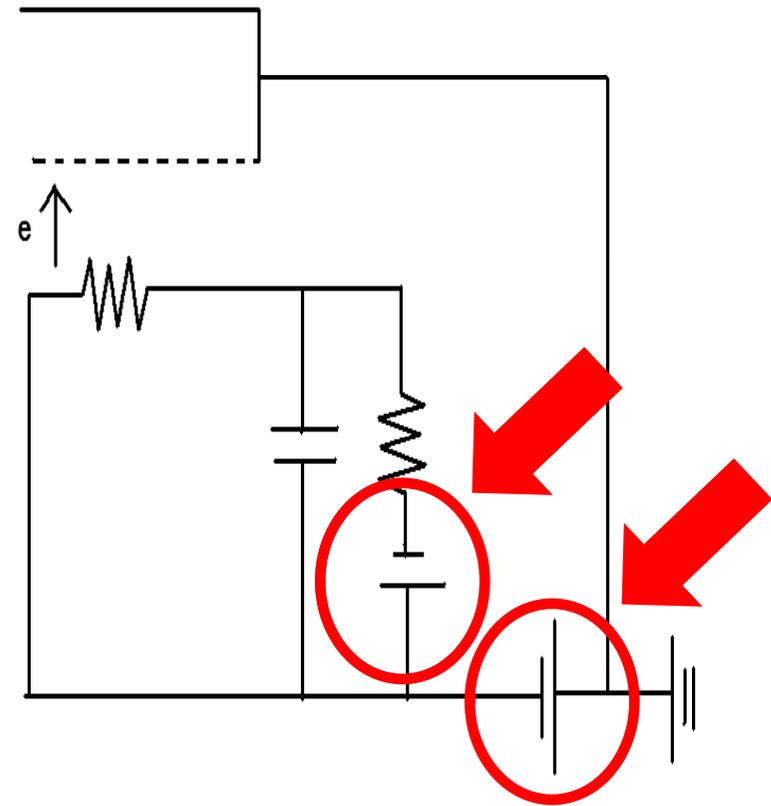
改良後の写真



ところがここで

電子銃に問題が！！

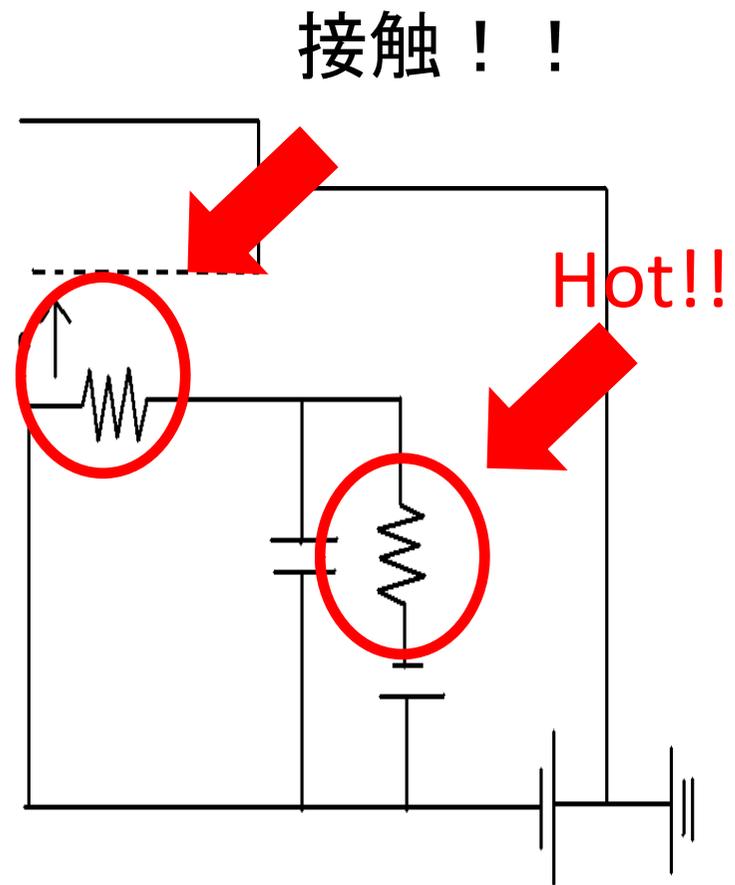
- 熱電子を放出する回路自体の電位を下げるために、もうひとつ電源を用いたが、なぜかしばらく使っているとその電圧が安定しなくなるという問題が発生した。(右図)
- 具体的には、はじめ10Vに設定していたのが、突然、 $-0.9V$ になり、それに伴って主電源のほうも $1.9V$ から $1.4V$ になった。



原因は？

考えられる原因は・・・

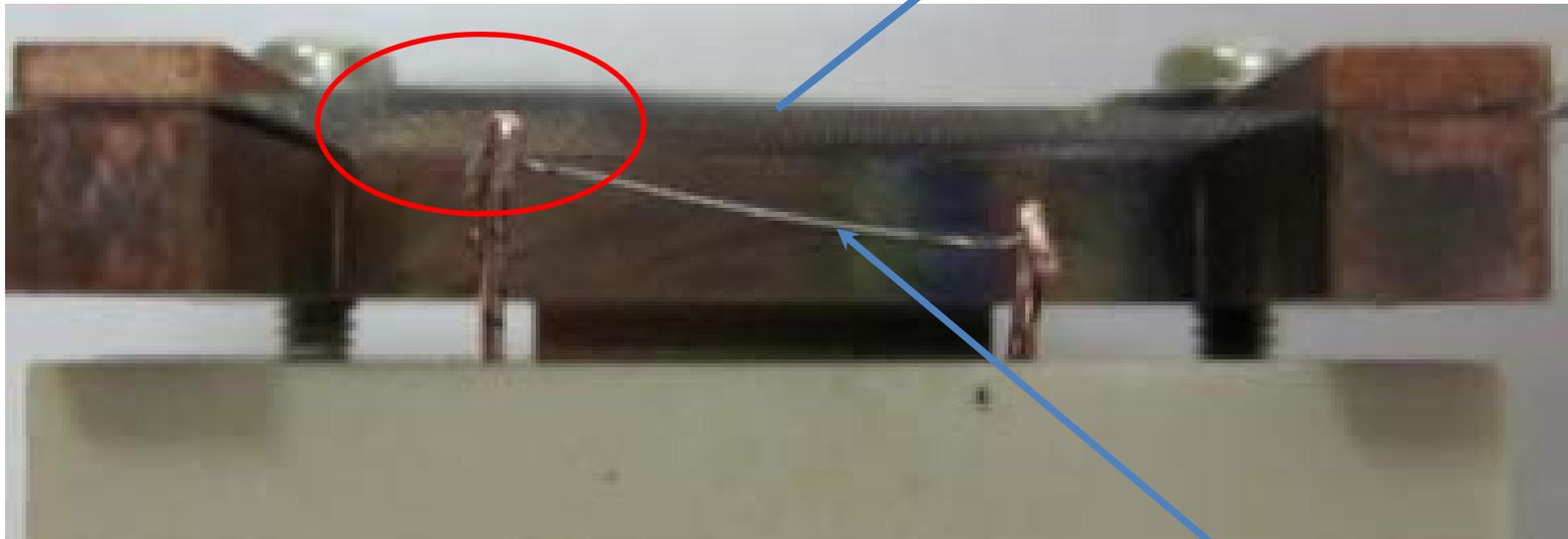
- ①電子銃の放電部がグリッドに接してショートしてた
- ②ローパスの抵抗が熱くなっていた



実際に電子銃を見てみると...

原因は①だった

グリッド



タングステン

改善策

- ・グリッドとタングステンの間隔をできるだけ広げた
- ・抵抗を並列につなぎ、発熱を抑えた
- ・長時間連続使用すると電圧がかからなくなる
⇒長時間の連続使用は避けた！

測定

電子銃のみ

電子銃 + 水素分子

電子銃 + 水素分子 + dissociator

水素分子 + dissociator

得られた結果

電子銃

Vth[mV]	カウント数/分		気圧(Pa)	電子銃	dissociator
	(i)	(ii)			
19.9	56	59	2.3e-3	2.1V 5.9A	0V 0A
24.9	7	14	1.8e-3	2.1V 5.7A	0V 0A
30.0	2	5	1.7e-3	2.1V 5.7A	0V 0A

電子銃＋水素分子

Vth[mV]	カウント数/分		気圧(Pa)	電子銃	dissociator
	(i)	(ii)			
20.1	3628	4030	2.5e-1	2.1V 5.6A	0V 0A
25.0	769	952	2.4e-1	2.1V 5.6A	0V 0A
30.0	87	148	2.2e-1	2.1V 5.6A	0V 0A

電子銃＋水素分子＋dissociator

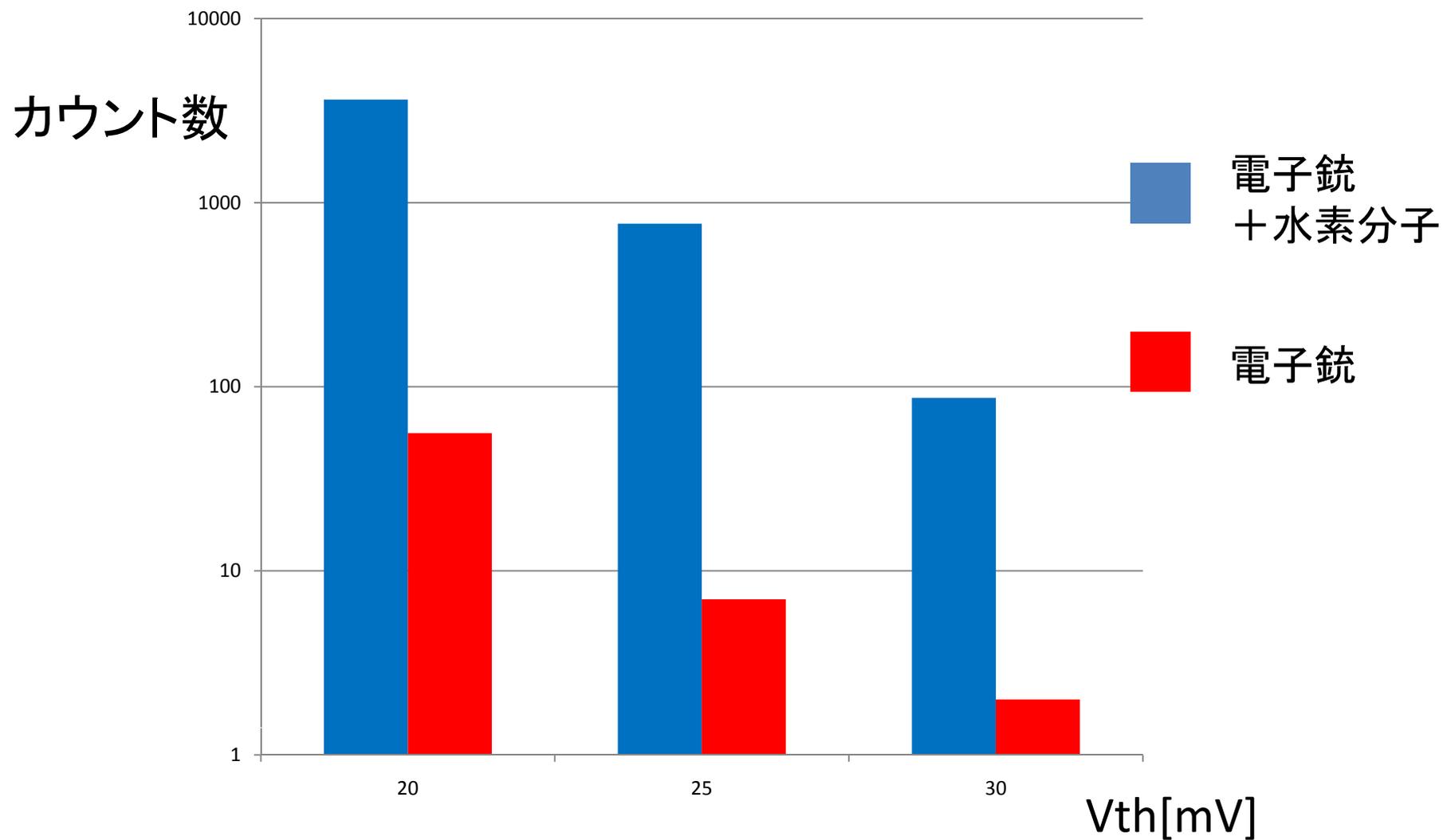
Vth[mV]	カウント数/分		気圧(Pa)	電子銃	dissociator
	(i)	(ii)			
20.1	9573	9338	2.1e-1	2.1V 5.4A	1.6V 15A
24.9	3089	3464	2.1e-1	2.1V 5.4A	1.6V 15A
30.0	1031	1008	2.1e-1	2.1V 5.4A	1.6V 15A

水素分子 + dissociator

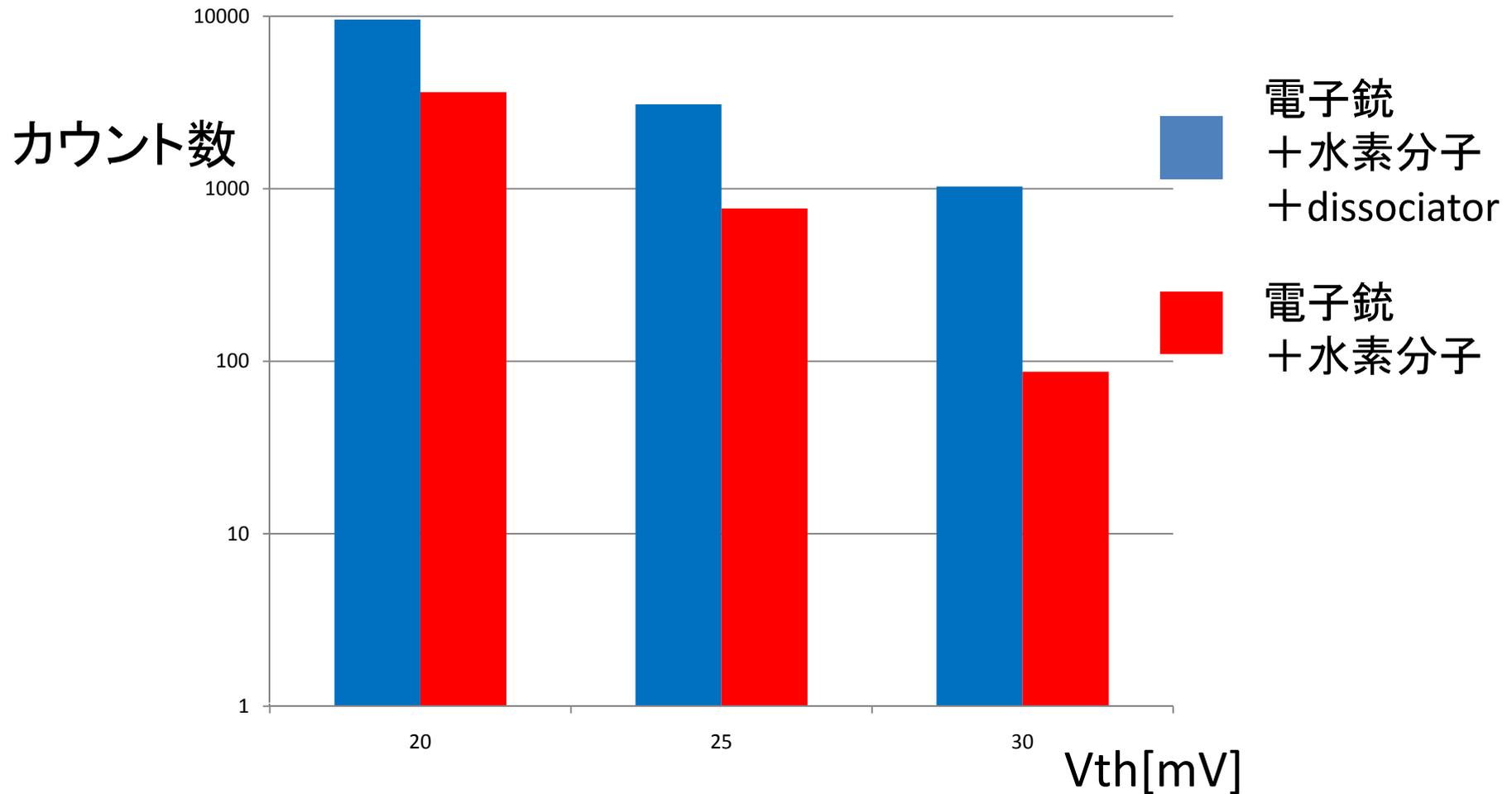
Vth[mV]	カウント数/分		気圧(Pa)	電子銃	dissociator
	(i)	(ii)			
20.1	117	96	2.1e-1	0V 0A	1.6V 15A
25.1	26	31	2.1e-1	0V 0A	1.6V 15A
30.0	9	8	2.1e-1	0V 0A	1.6V 15A

考察

電子銃＋水素分子の場合は、電子銃のみの場合と比べ、カウント数が約100倍多い。



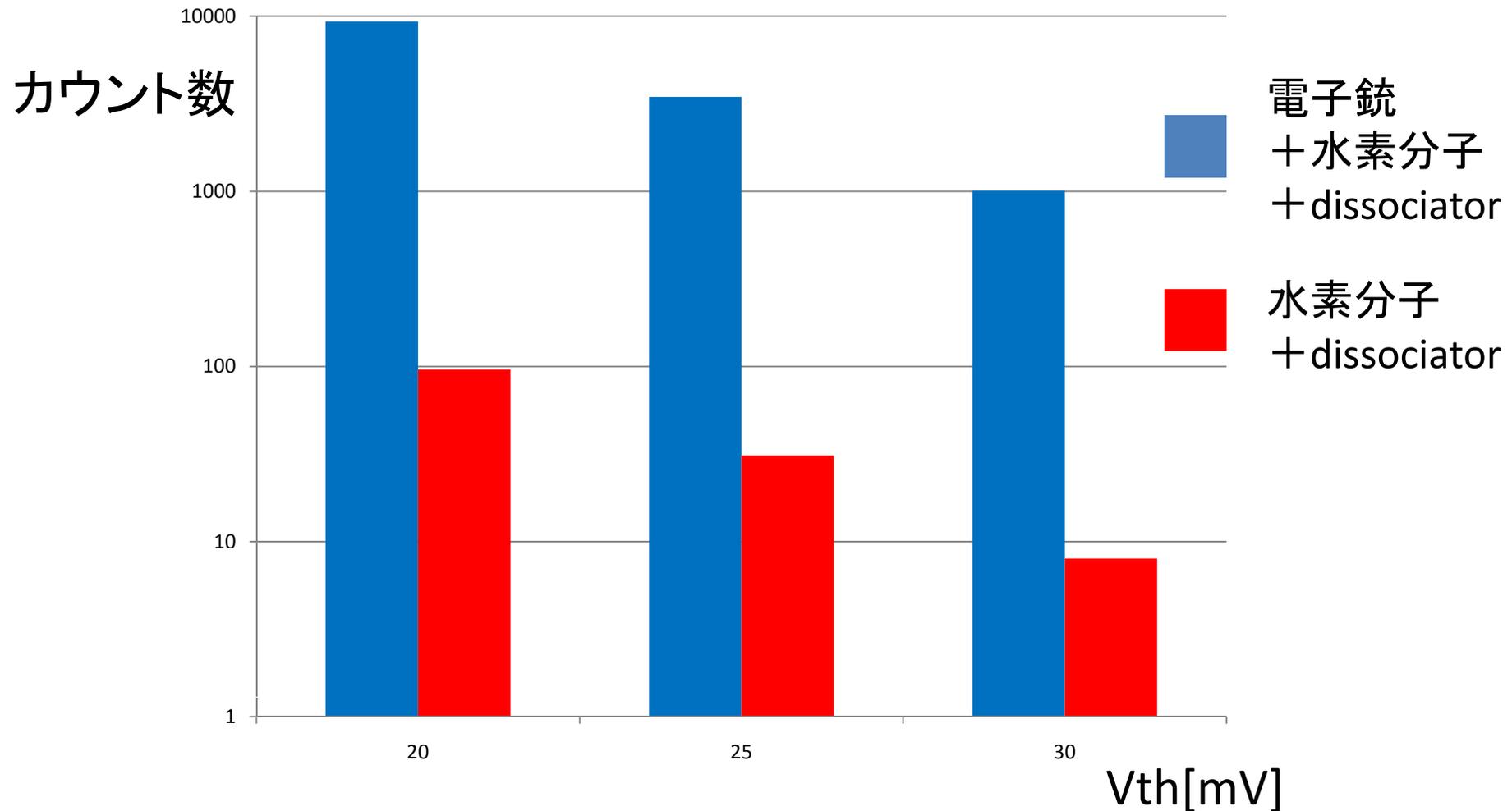
電子銃＋水素分子＋dissociatorと、電子銃＋水素分子とを比べると、前者のほうが後者より約2～10倍多い。



考えられる可能性

- ① 水素分子が励起し、それを観測した。
- ▲ ② 水素分子の結合エネルギーが4.5eVで、水素原子の1sと2s間のエネルギー差がよそ9eVだから、電子銃により水素分子が分離し、さらに励起して、それを観測した。
- ✖ ③ 基底状態の水素分子に反応してしまった。

電子銃＋水素分子＋dissociatorと、水素分子＋dissociatorとを比べると、前者のほうが後者より100倍ほど多い。



電子銃により

水素原子は励起され

$2S_{1/2}$ ができている

謝辞

実験全体を通して市川さんとTAの松岡さんには大変お世話になりました。

最後に、偉大なるLambとRetherfordに敬意を表す。

おわり