

高輝度電子源開発

栗木雅夫 (広島大学)



- ▶ 高輝度電子源開発の概要
- ▶ L-band RF 電子銃開発
- ▶ レーザー開発
- ▶ カソード長寿命化
- ▶ 高電圧電子銃開発
- ▶ まとめ

高輝度電子源開発

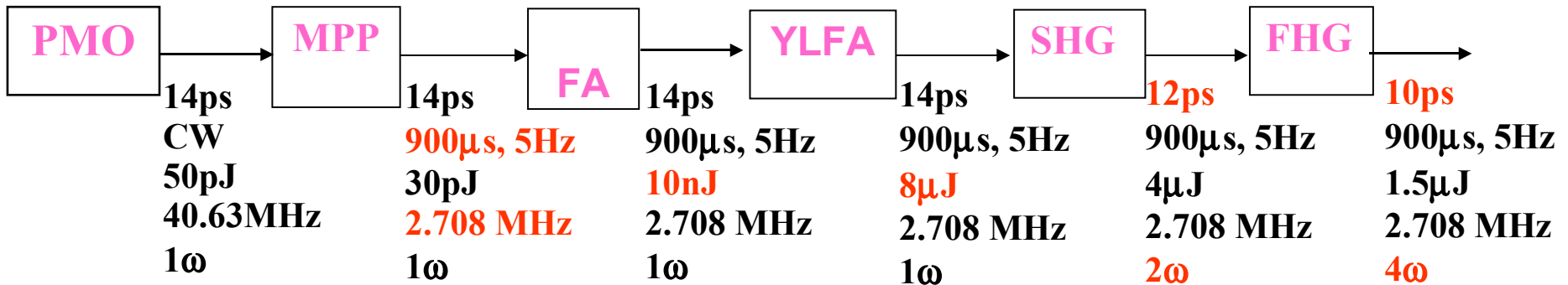
- ▶ 高輝度ガンマ線源開発においては、次のように二段階を経て高輝度光子源の実現を目指す。
 - ▶ 光カソードRF電子銃(パルス運転) + レーザー蓄積空洞
 - ▶ 光カソードDC電子銃(連続運転) + レーザー蓄積空洞
- ▶ 光カソードRF電子銃は瞬間的な輝度は高いが、平均輝度は限定的、KEKにおけるS-bandベースのシステムの経験が活かせるため、技術的ハードルが低い(第一段階の実証)
- ▶ 光カソードDC電子銃は瞬間的な輝度はRF電子銃に劣るが、連続運転により平均輝度は数百倍が可能。ただし、DC高電圧の安定した印加、陰極の寿命などの課題があり、技術的ハードルは高い(第二段階の実証)

光陰極RF 電子銃システム

- ▶ KEKにおけるS-bandの経験をフルにいかしたシステム構築。
 - ▶ より長パルス(~1ms)に適したL-band RF電子銃空洞の開発 -> 大阪大学
 - ▶ RF電子銃のためのカソード(堅牢かつ中程度の量子効率): CsTe(ほぼ確立した技術、KEKにおいて製作)、CsKSb(開発途上の技術、可視光による励起などの特長、東京大学において開発)
 - ▶ 高輝度電子を発生させるための励起用レーザー(UV、ロシアIAPと共同研究)

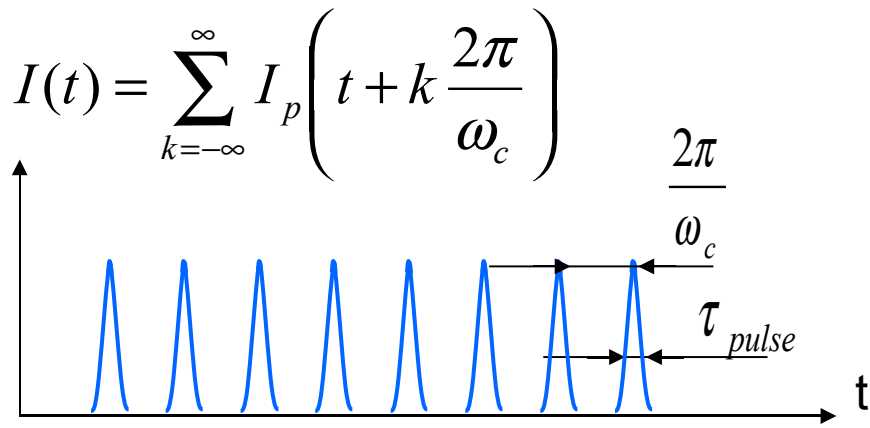
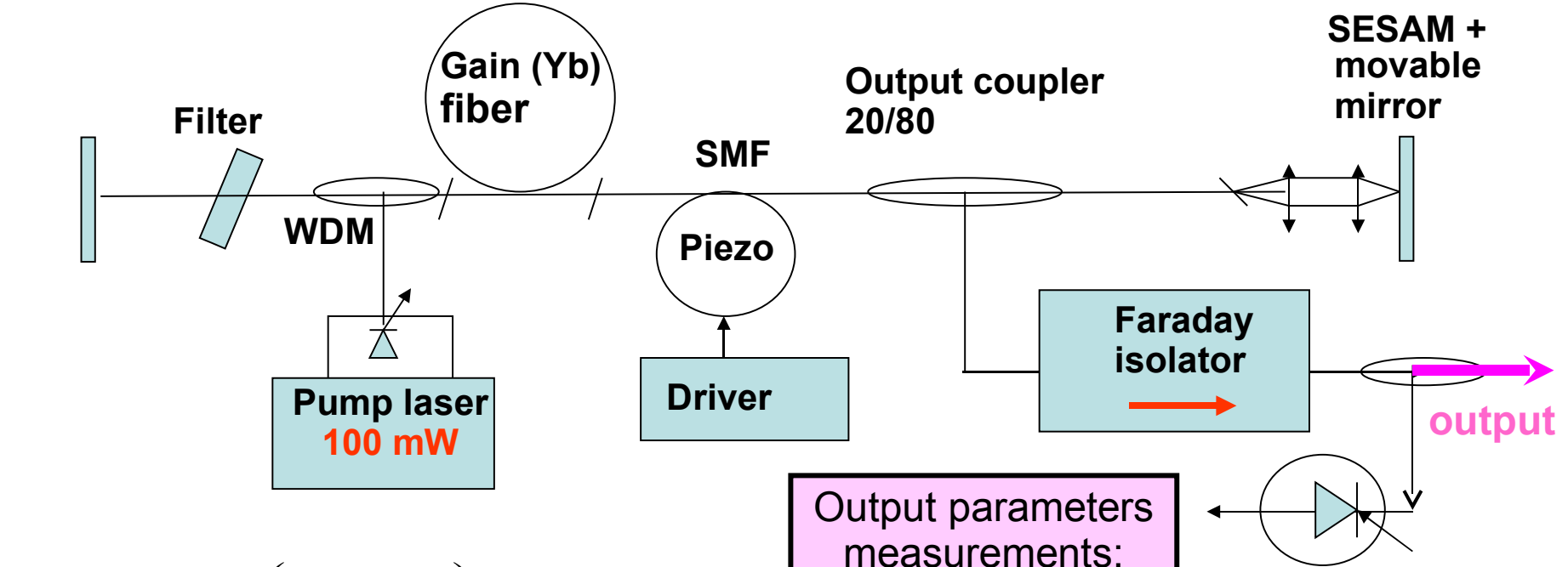
- ▶ RF電子銃用のパルスレイン生成用のUVレーザー
- ▶ 広島大学、JINR(Russia), IAP(Russia)の検討により、Yb fiber オシレーター + パルス変調 + Yb fibre amp + Nd: YLF laser amplifier + HGという構成で製作、
- ▶ 2008年度にオシレーター部、パルス変調部が完成
- ▶ 2009年度にアンプ部、HG完成予定

Basic Configuration



Macro pulse duration	900 us
Leading and tail duration	0.3us from 0.1 to 0.9 level
Contrast ratio	500
Micropulse duration	8-12ps
RMS of micropulse duration	1%
Micropulse rep. Rate	2.708MHz +/- 1.3kHz
Macro pulse repetition	5Hz
Number of micropulses in macropulse	2437
Wavelength	266nm
Micropulse energy	1.4uJ
RMS of micropulse energy (10 consequence pulses)	3%
RMS of micropulse energy (within whole macropulse)	10%

Picosecond Master Oscillator (PMO)



Output parameters measurements:

$W = 50 \text{ pJ}$

$P_{pic} = 5 \text{ W}$

$P_{aver} = 2 \text{ mW}$

$\lambda = 1047 \text{ nm}$

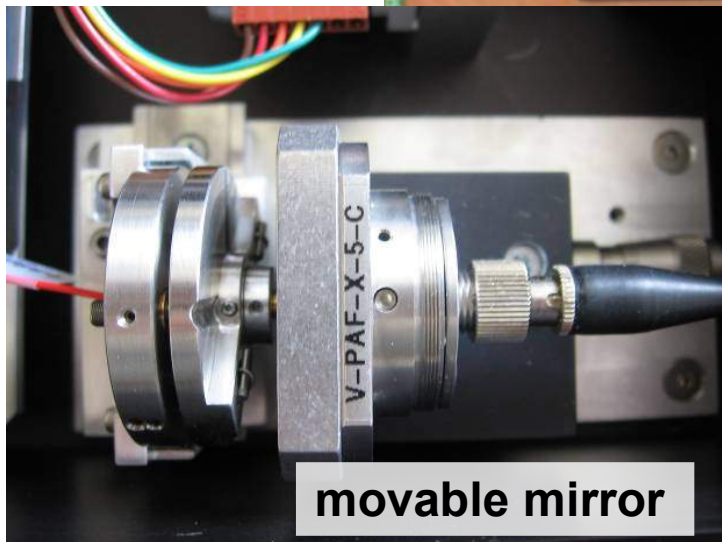
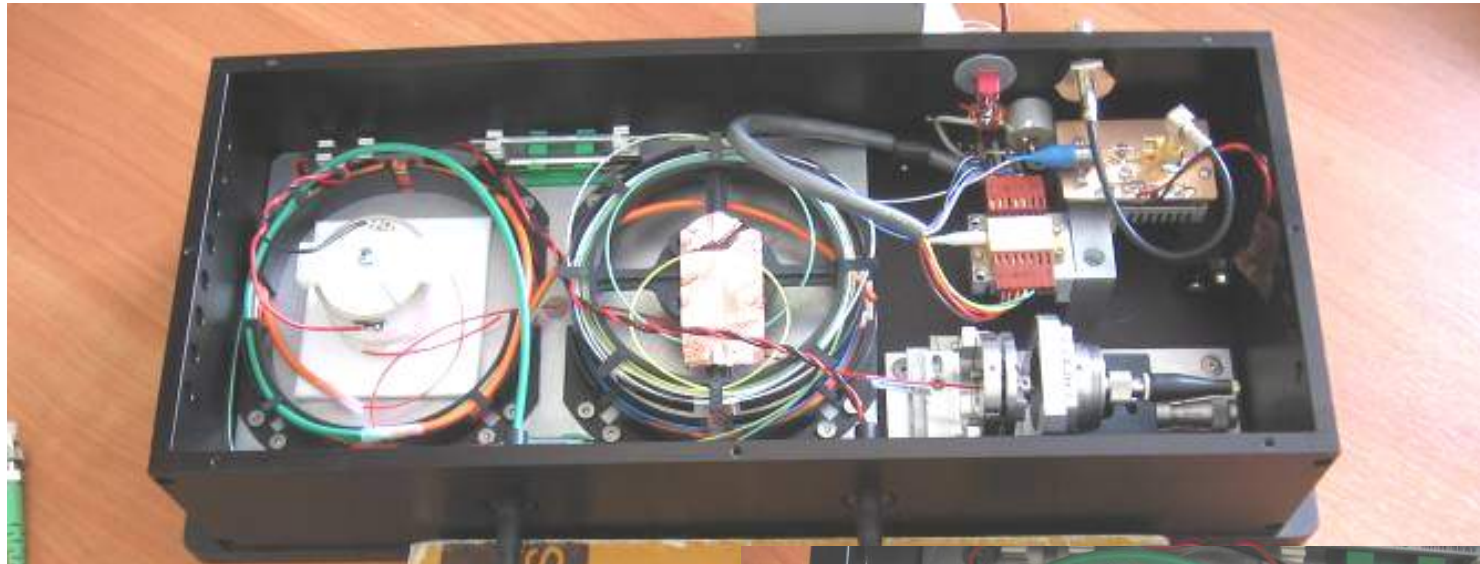
$\tau = 14 \text{ ps}$

$F = 40.63 \text{ MHz}$

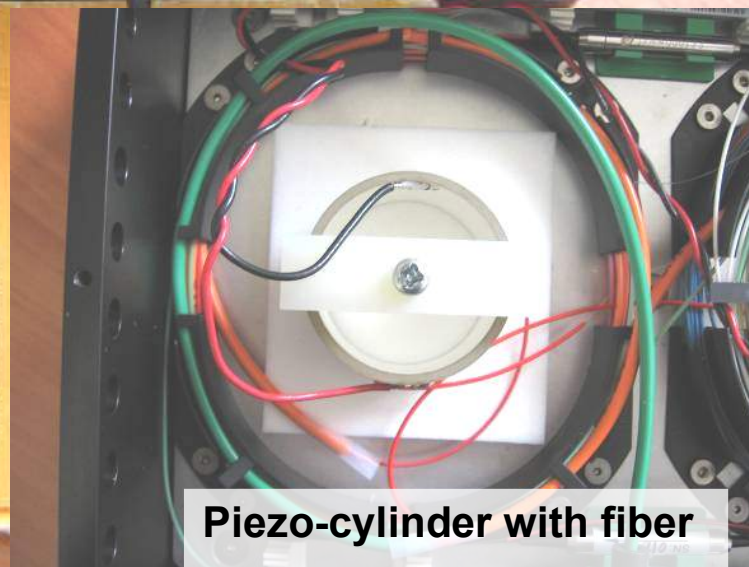
$(2.708 = 40.63/15)$

E. Khazanov

PMO: Pictures

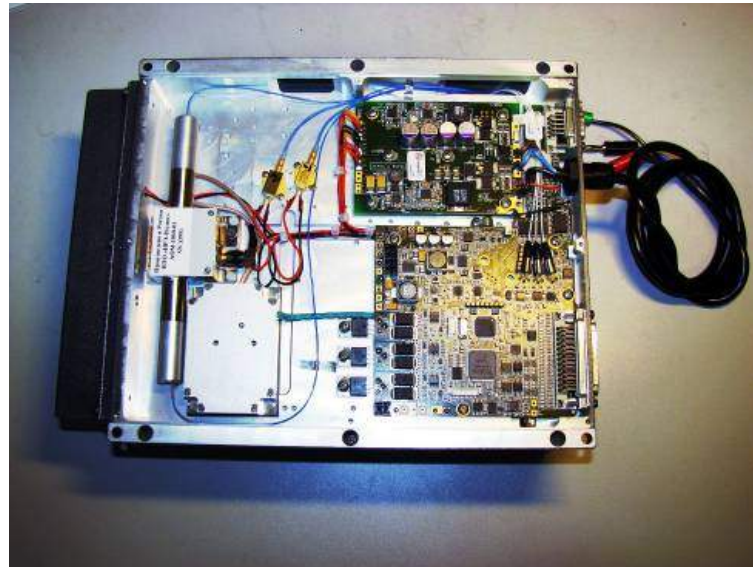
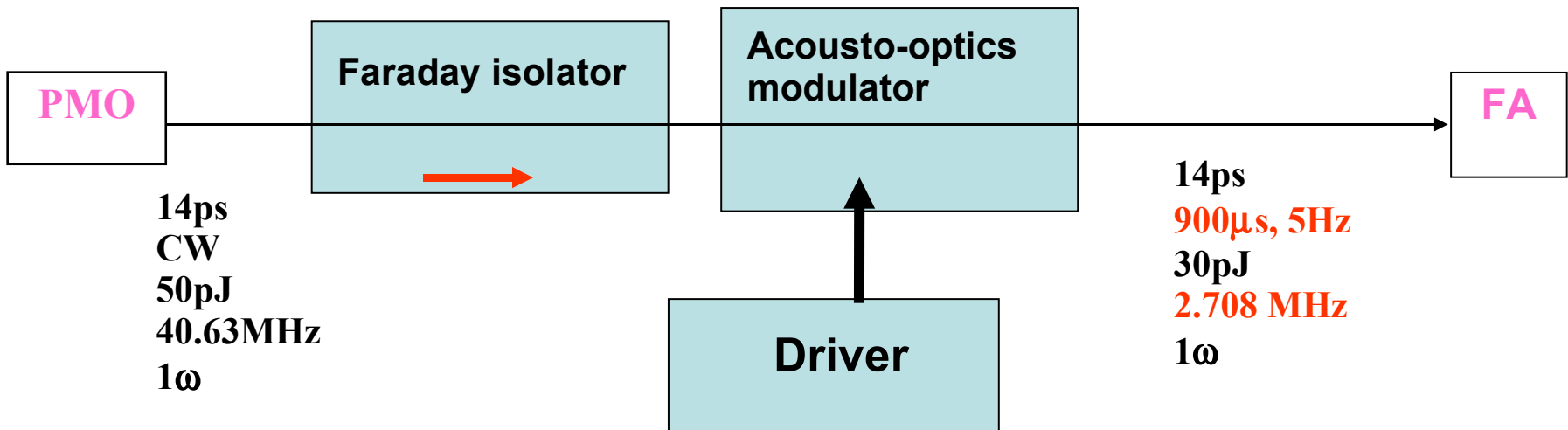


movable mirror



Piezo-cylinder with fiber

Macropulse profiler (MPP)

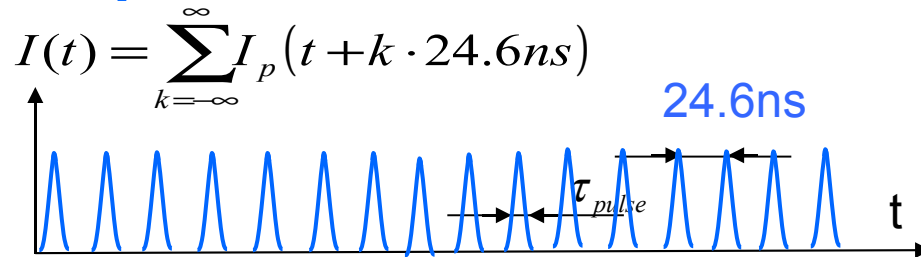


E. Khazanov

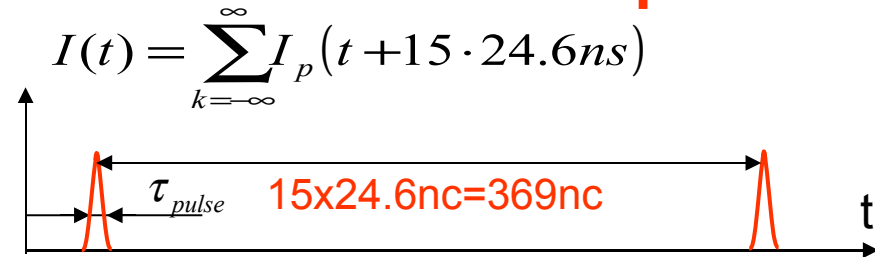
MPP: Functions

1. Transmits only 1 of 15 micropulses

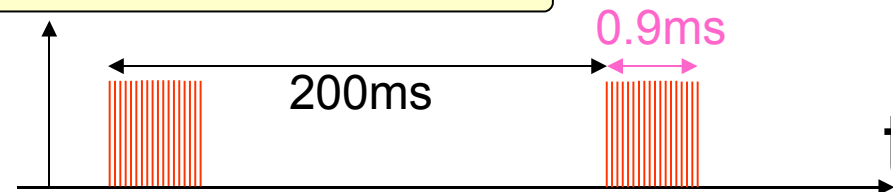
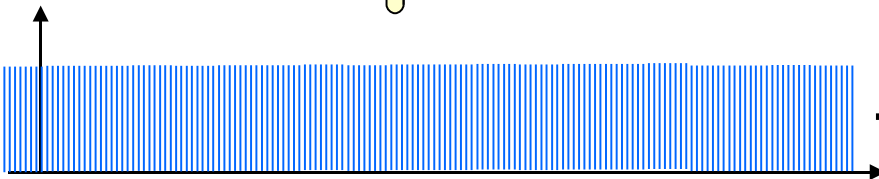
input



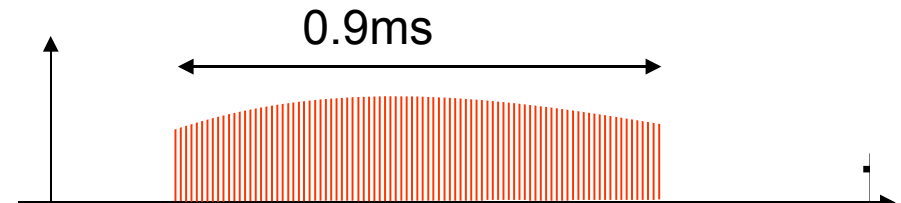
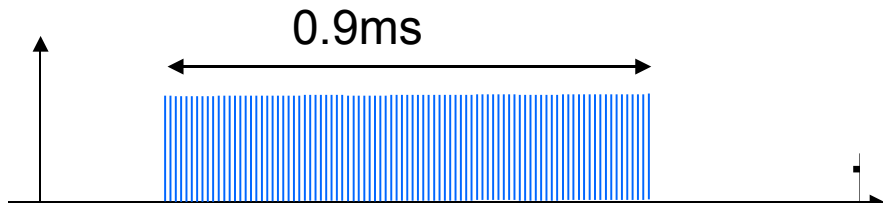
output



2. Transmits 900 μ s macropulse @5Hz



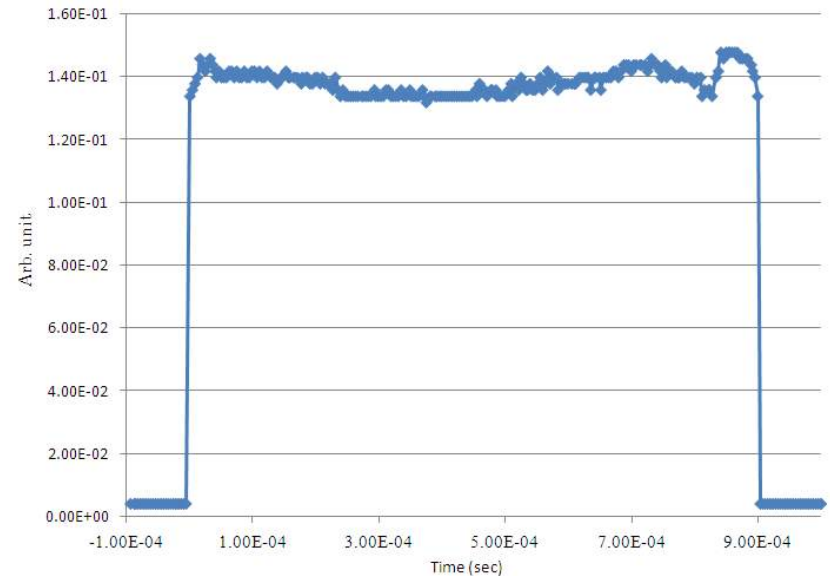
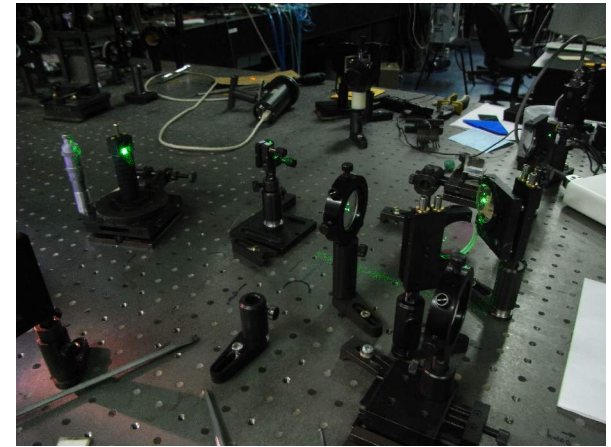
3. Pre-shapes macropulse to compensate gain time dependence



- ▶ Pulse uniformity in a macro-pulse is found to be around 3% in rms after optimization.
- ▶ Temporal stability was measured to be around 3% for several hours.
- ▶ These flatness & stability are in tolerance, but slight improvements are desirable.

	1ω	2ω	4ω	4ω
Average	131	78.9	22.5	20.1
RMS	3.33	2.8	0.72	0.46
Ratio	2.54%	3.55%	3.20%	2.29%

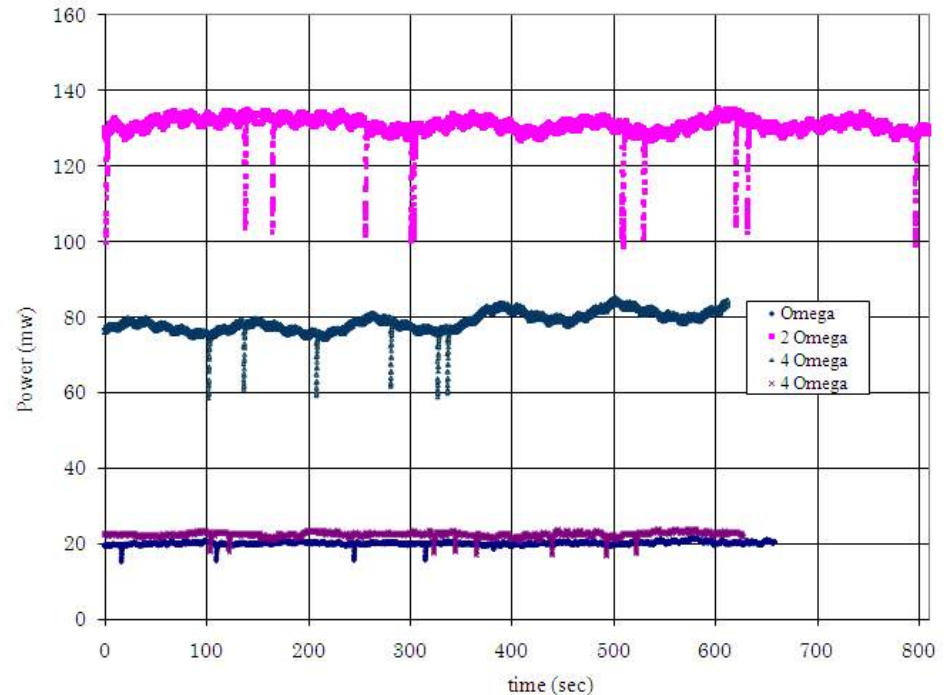
Temporal energy stability



Macro pulse profile

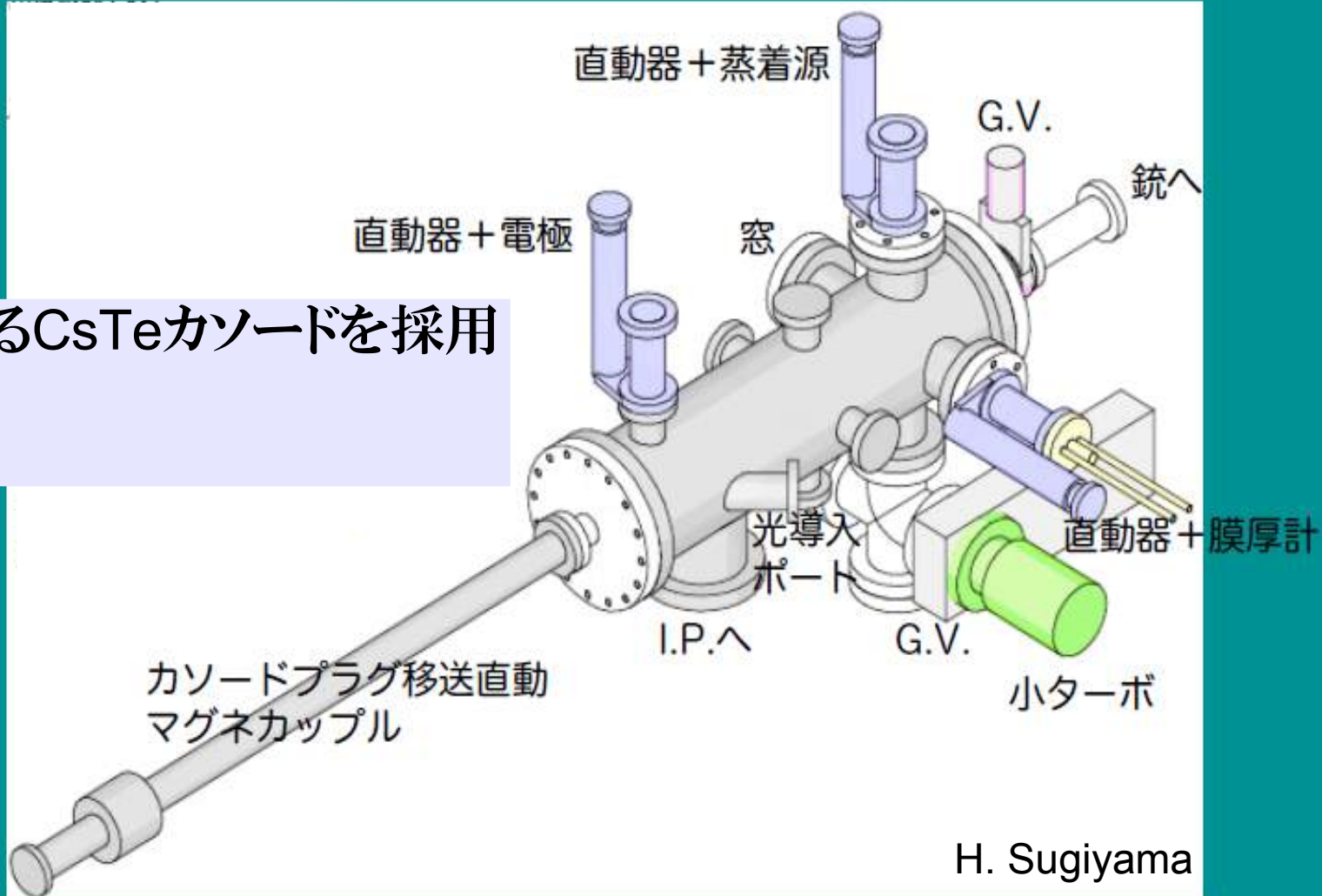
Stability

- ▶ Temporal power stability was measured for 1ω , 2ω , and 4ω .
- ▶ 4ω had the best stability and 2ω has the worst stability.
- ▶ The good stability on 4ω is due to the saturation of conversion.



CsTeカソード

- ▶ 実績のあるCsTeカソードを採用
- ▶ ほぼ完成



高圧DC電子銃開発

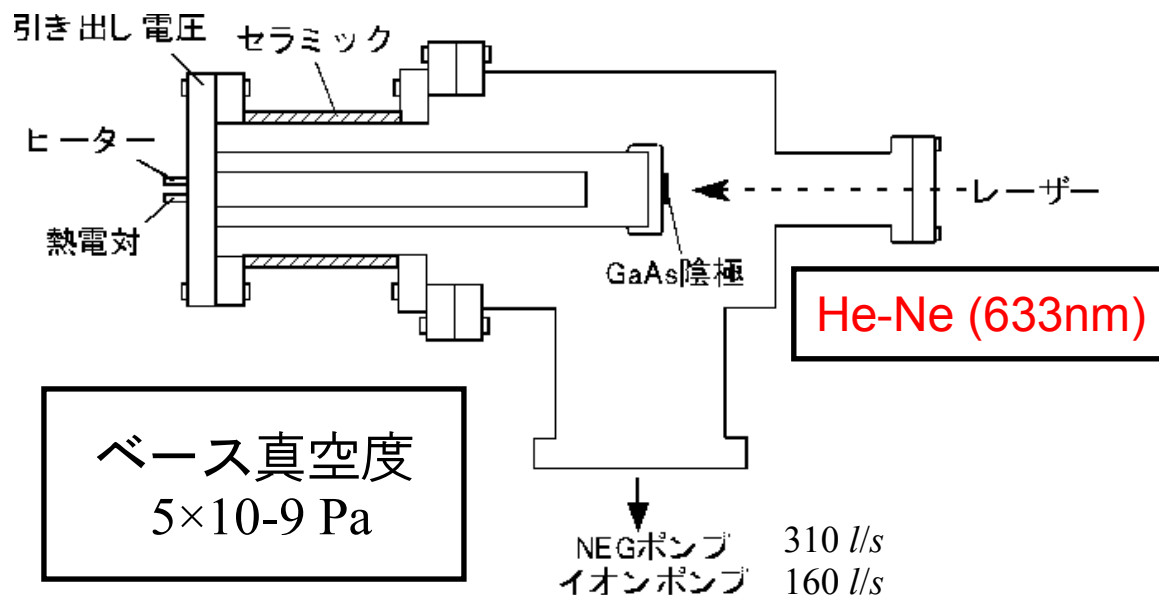
- ▶ 連続的に高輝度電子ビームを生成することで、時間あたりのガンマ線生成数を数百倍まで増大することが可能。
- ▶ 高い電圧で素早く加速することで、電子ビームの高い輝度を活かすことが可能。
- ▶ 高い電圧 (500kV-750kV) の電圧を短いギャップに安定的に印加することが必要。
- ▶ また、取り出し電流量が大きいため、丈夫なカソード材料の開発が不可欠。

500kV電子銃開発

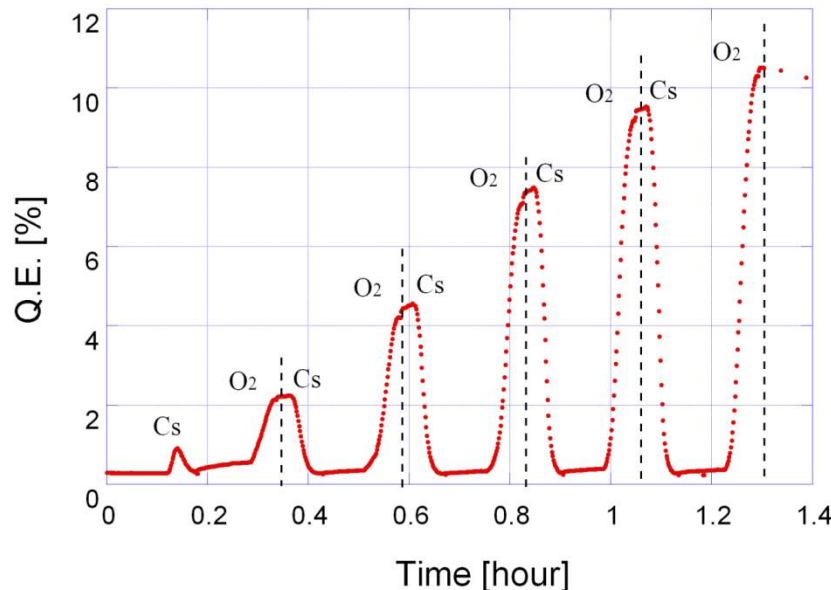
- ▶ JAEA, KEK, 名古屋大学、広島大学が共同で開発。
- ▶ 絶縁管に細密アルミナセラミック、容器に化学研磨チタンを使用し、カソードの長寿命化に必要な極高真空実現を意図。
- ▶ 分割電極構造をとり、かつ放電により生じた電子直接セラミック管に到達しないようなガード構造をとるなど慎重な設計。
- ▶ 最高到達電圧550kV、運転電圧500kVを目指して調整中。達成すれば、加速器用DC電子銃としてはCornell大学の340kVを抜いて世界一に。

カソードテスト装置

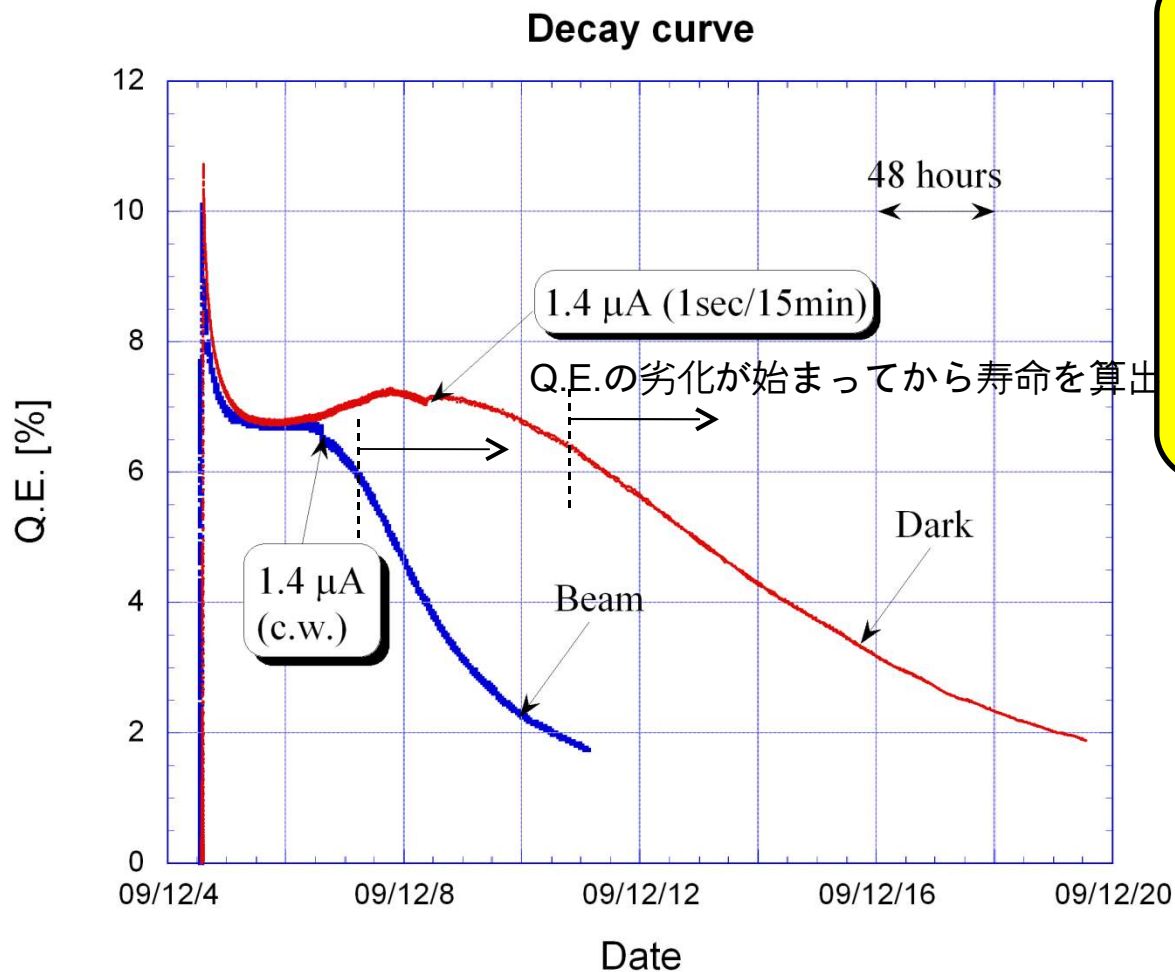
- ▶ DC電子銃において、実用的な運転寿命を得るのは必須。
- ▶ 加熱洗浄、NEA表面の作成、寿命の計測はすべて同じチェンバー内で行い、カソード寿命の基本的な性質を研究。
- ▶ 引き出し電圧は100Vで計測。



- ▶ GaAs基板：住友電工社製 GaAs(100), $\text{Zn}=5 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ 。
- ▶ 2008/11/26に化学洗浄、チェンバーにインストール。
- ▶ 以来、**約40回**の過熱洗浄、NEA表面作成、計測を繰り返している。
- ▶ NEA表面はCs-OによるYo-Yo法で作成
- ▶ Yo-Yo直後の**Q.E.は10%くらいで、再現性はかなりよい。**



Typical Decay curves



Dark lifetime 測定
 $T = 23.4 \pm 0.5$ [$^{\circ}\text{C}$]
 $P = 5.8 \pm 0.1$ [$\times 10^{-9}$ Pa]

Beam lifetime測定
 $T = 22.8 \pm 0.2$ [$^{\circ}\text{C}$]
 $P = 7.0 \pm 1.5$ [$\times 10^{-9}$ Pa]

温度、真空度を
変えて寿命を測定

$$\frac{1}{\tau} = \frac{1}{\tau_T} + \frac{1}{\tau_P}$$

τ_T ; GaAsの温度で決まる寿命

τ_P ; 真空度で決まる寿命

温度依存

$$\tau_T = \nu^{-1} \exp\left(\frac{E}{k_B T}\right)$$

ν ; 頻度因子

E ; Binding energy(Cs-GaAs)

k_B ; ボルツマン定数

T ; カソードの温度

真空度依存

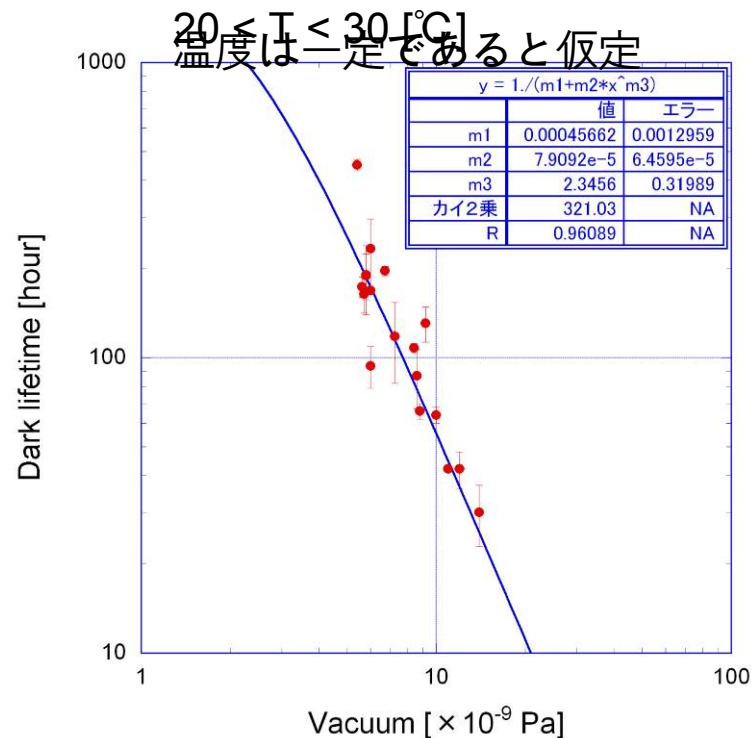
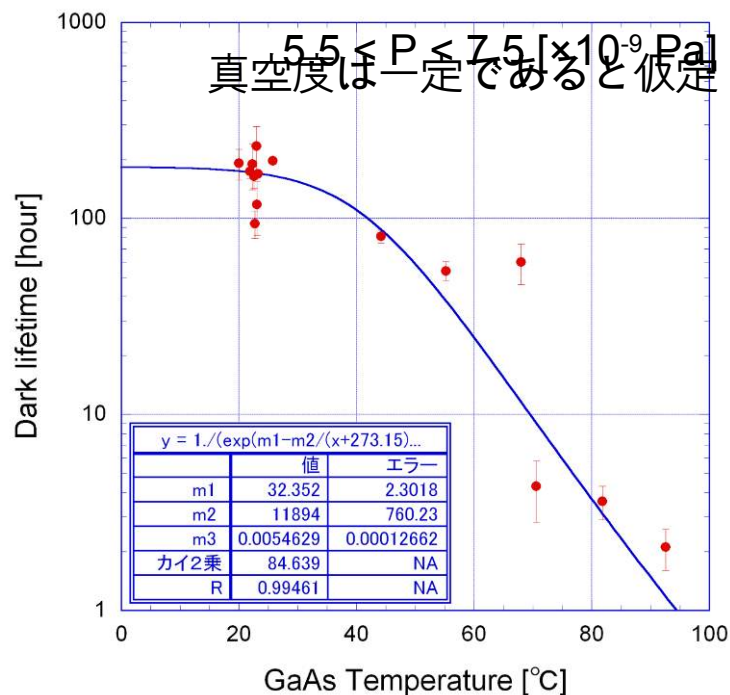
$$\tau_P = \left(\frac{\alpha}{P}\right)^n$$

α ; 係数

P ; 真空度

Dark lifetimeの温度・真空度依存...

温度依存性

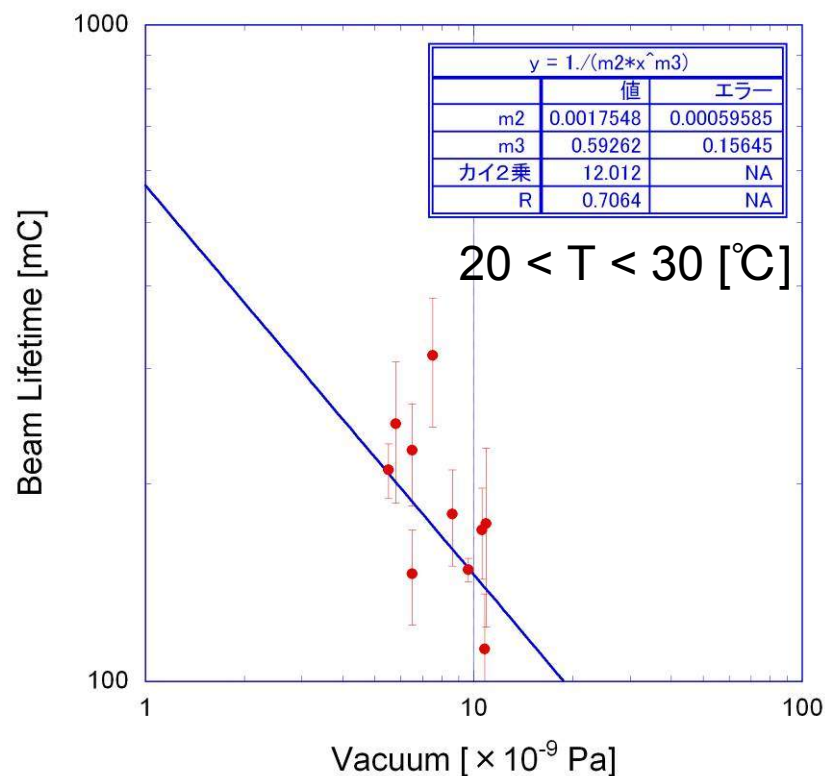
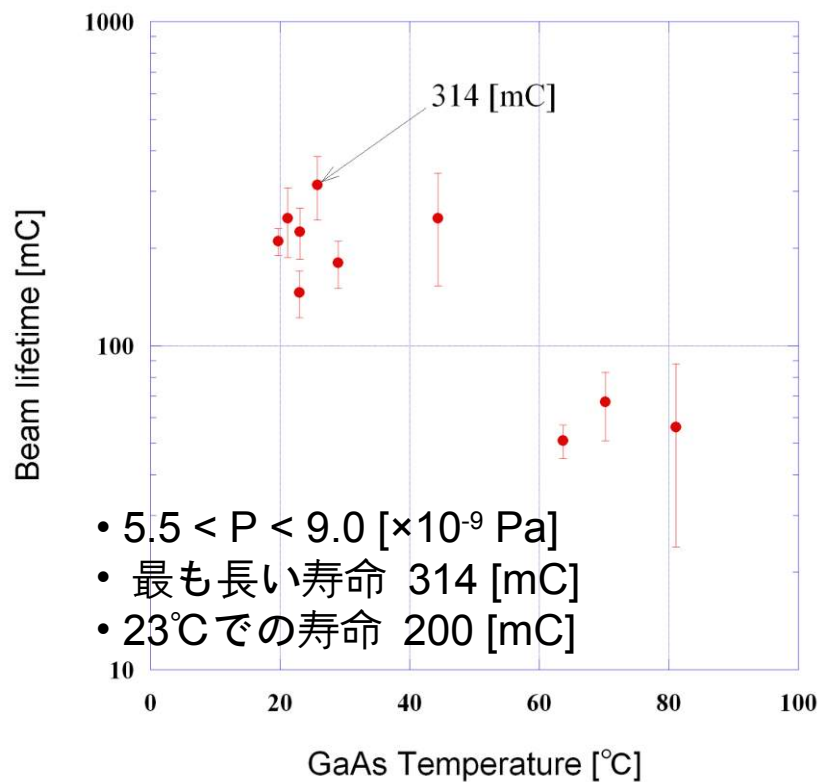


	Fitting result	文献値*
$\square$	$10^{11 \pm 1} [\text{/sec}]$	$\sim 10^{13} [\text{/sec}]$
E	$1.0 \pm 0.1 [\text{eV}]$	1.3, 1.5, 2.4 [eV]
n	2.3 ± 0.3	?

* B. Goldstein and D. Szostak
 Appl. Phys. Lett. 26 (1975) 111

Beam lifetimeの温度・真空度依存性

温度依存性



Re-cesiation

▶ これまでに3回、re-cesiationを試した

▶ Jlabの方式を試す

(Proc of PAC'95, p.3117)

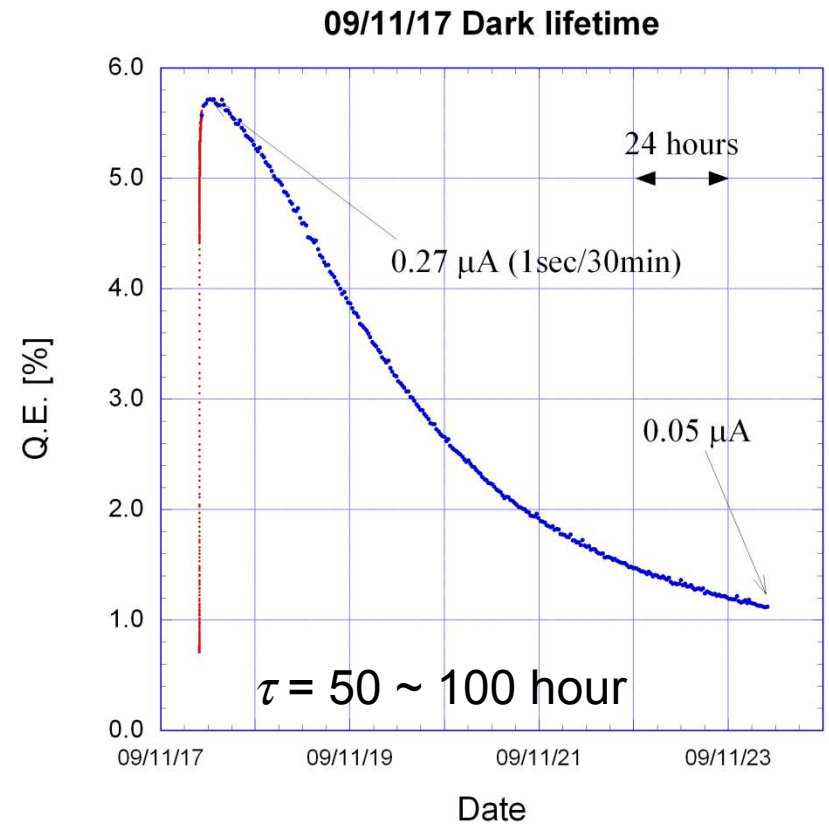
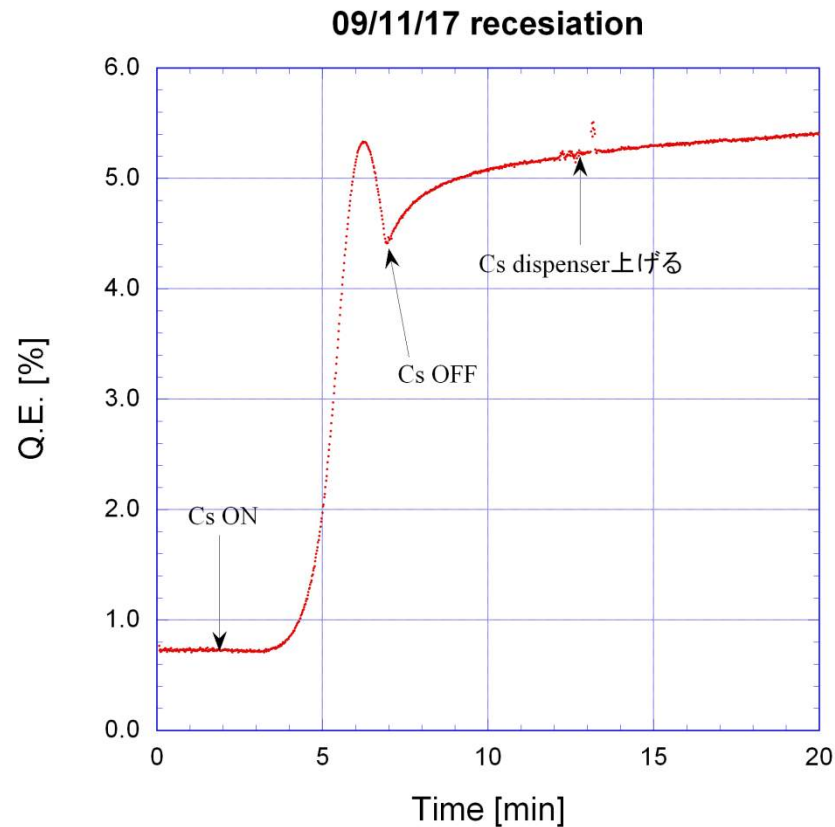
▶ Csを蒸着、Q.E.が徐々に回復

▶ Peakを迎える

▶ Q.E.がPeakから15%ほど低下したらCsを止める

▶ Q.E.が再び上昇する(over cesiation)

Re-cesiation & Decay curve



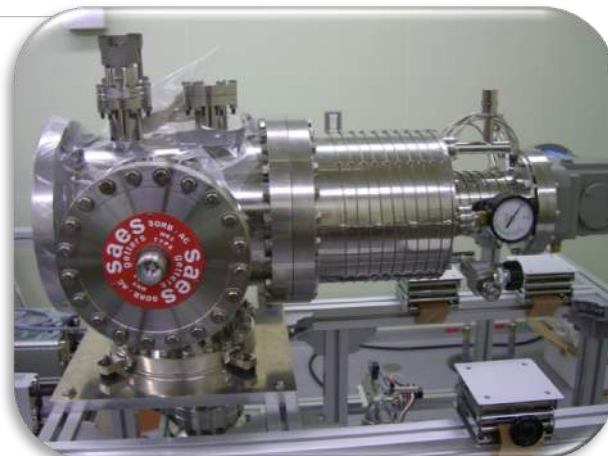
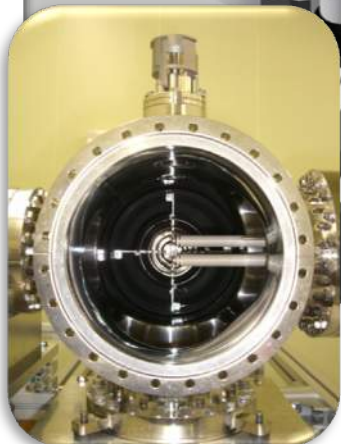
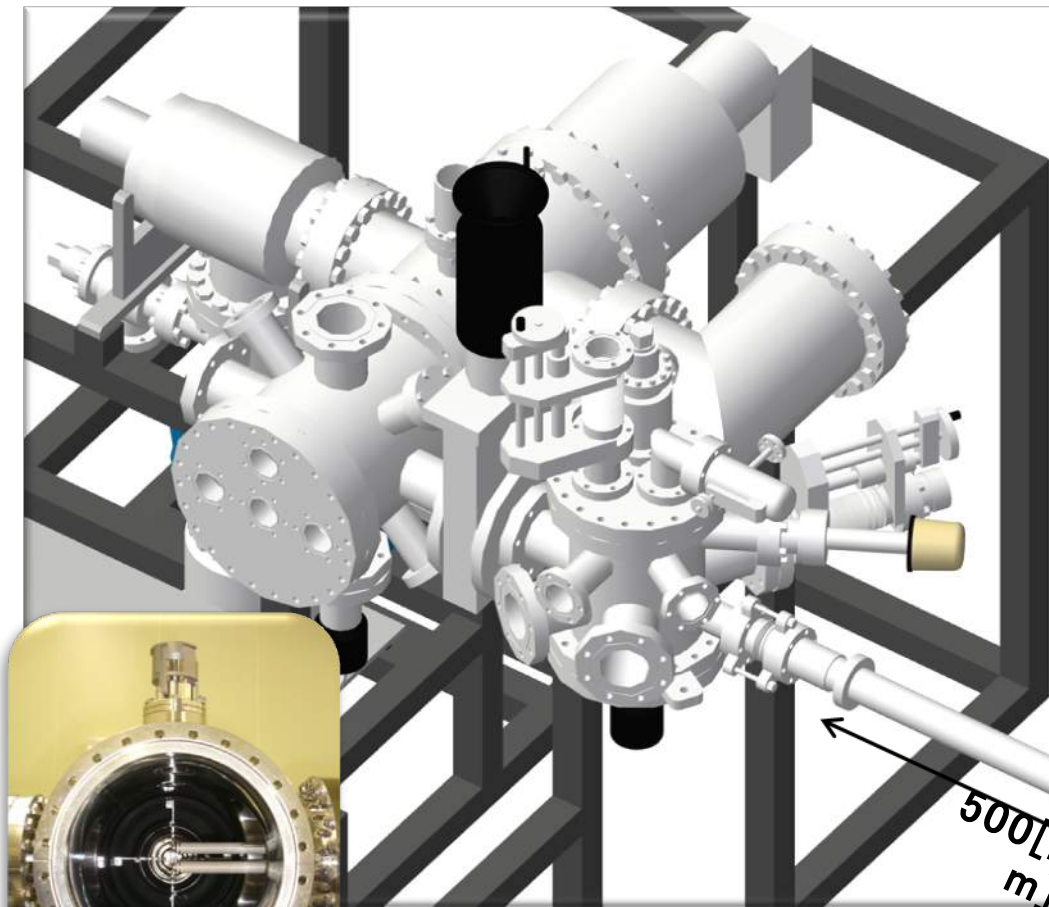
まとめ

- ▶ 寿命の温度依存性および真空度依存性を測定している。
- ▶ Dark寿命の変化振る舞いは両者を考慮した式で説明ができる。
- ▶ Beam寿命に関してはもう少し議論が必要。
- ▶ 測定の精度を上げれば定量的な議論ができそう。
- ▶ Re-cesiationによる回復率は5~8割。
- ▶ Re-cesiation後の寿命は短くなる傾向がある。

今後

- ▶ 真空度を1桁よくすれば ($\sim 10^{-10}$ Pa) dark, beam lifetimeともに1桁は寿命がのびそう。
 - ▶ Cryo-pump & load lockを持つ新しい測定装置を準備中 (HUES1)
 - ▶ BeCuを用いたRGAを準備中
- ▶ 室温以下での寿命を測定したい
 - ▶ カソード冷却機構を準備中
- ▶ 寿命が一定になるところでは何が起きている? Q.E. や寿命の波長依存性は?
 - ▶ Xeランプと分光器を組み合わせた波長可変の光源を準備した

HUES1完成予想図



真空排気装置

□ NEGポンプ

排気速度：H₂...

1900[l/s]

CO...

650[l/s]

□ クライオポンプ

排気速度：H₂...

4000[l/s]

N₂...

1700[l/s]

Ar... 1400[l/s]

H₂...

2700[l/s]

まとめ

- ▶ STFのためのL-band RF 電子銃および関連するコンポーネントを国際共同体制のもと開発。
- ▶ 空洞についてはほぼ最終段階。
- ▶ レーザーはオシレーター部が完成、アンプ部および波長変換部を製作中。2009年度に完成予定。
- ▶ CsTeカソードは細部を検討中、今年度前半を目処に設計をつめている。
- ▶ 2009年度内にビーム発生に必要なコンポーネントが揃う予定。
- ▶ 2010年度、最初のビーム試験。