

2012.10.11

第65回 ERL検討会

GaAsフォトカソードの 電荷量寿命について

広島大学大学院 先端物質科学研究科
飯島北斗、郭磊、栗木雅夫

はじめに

- NEA-GaAsフォトカソードの量子効率、残留ガスの吸着、**イオン衝撃**、Cs/Oの熱脱離によって低下していく。
- イオン衝撃の頻度は**電子ビームのエネルギー**や真空度に依存する。
- 電子ビームのエネルギーを変えながらNEA-GaAsの電荷量寿命を測定し、逆流するイオンがNEAを「壊す」影響係数を求めた。

イオン衝撃による寿命(1)

量子効率 η の時間変化率

$$\frac{d\eta}{dt} = -\sigma_{NEA} \frac{N_B}{S} \eta$$

S ; レーザースポットサイズ
= 量子効率を測定している範囲

単位面積、単位時間あたりNEAに衝突するイオン密度

衝突したイオンがNEA表面の活性を奪う影響係数

$$N_B = \frac{I}{e} \int_0^z \rho(z) \sigma(E) n_R dz$$

残留ガス密度

電子数

イオン化断面積(電子ビームのエネルギーに依存)

イオン逆流の確率(イオンの発生位置に依存)

イオン衝撃による寿命(2)

我々の装置では測定の間で
真空度が一定とはいえない

$$\eta = \eta_0 \exp\left(-\frac{\int P I dt}{\Theta S}\right)$$

$$n_R = P/k_B T$$

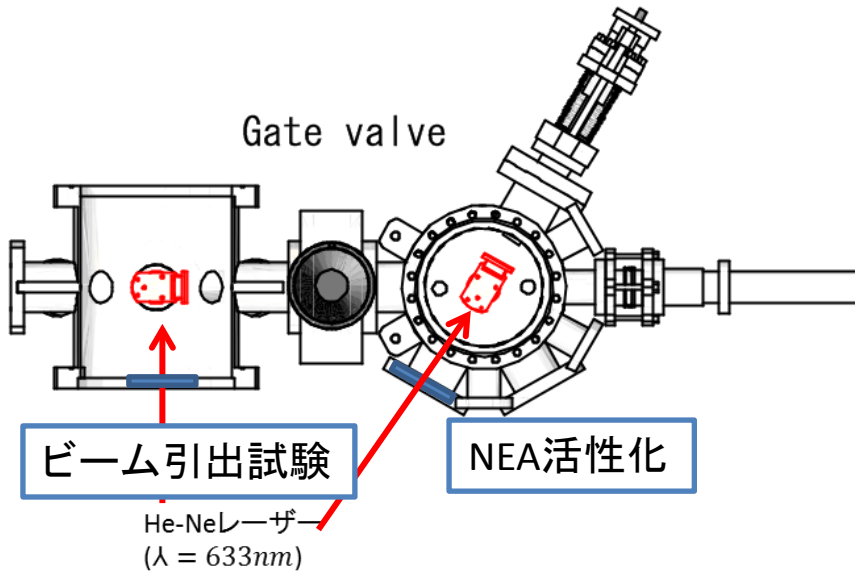
ここでは $T=300$ [K]

測定から求める

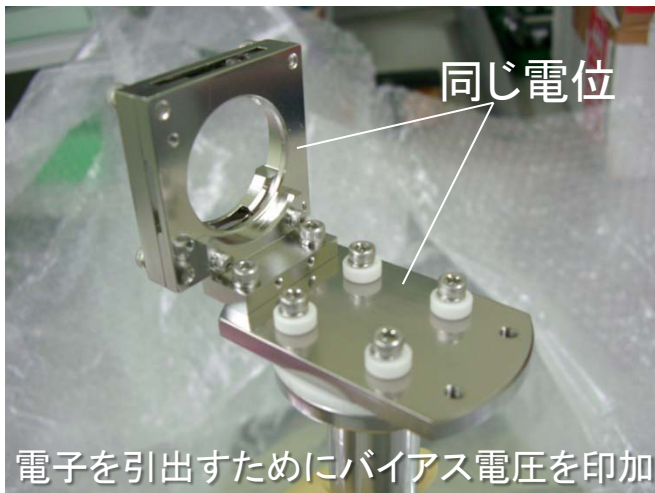
$$\Theta = \frac{ek_B T}{\sigma_{NEA} \int \rho(z) \sigma(E) dz} \quad [\text{C Pa/m}^2]$$

シミュレーションから求める

実験装置

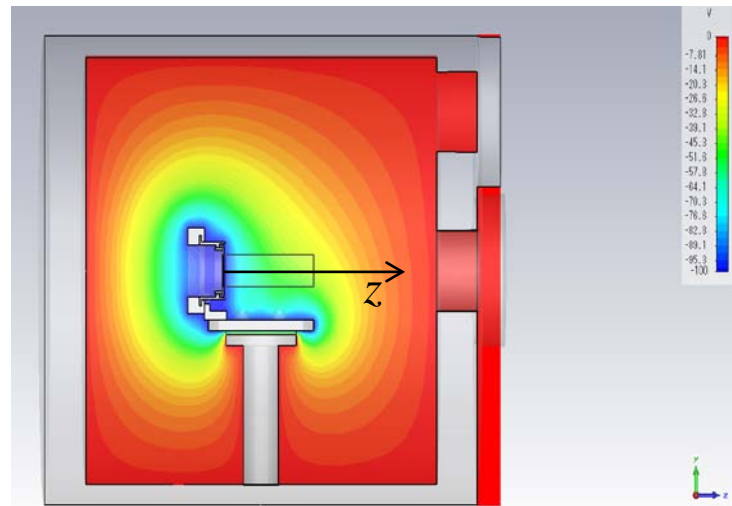


カソードパックを固定するテーブル



- ✓ 電子はテーブルにバイアス電圧 V_B を印加して引出す。
- ✓ バイアス電圧を変えることで、電子ビームのエネルギーを変えている。
- ✓ テーブルの影響で電子ビームは直進しない。
- ✓ イオンは電子軌道上で発生するが、すべてのイオンがレーザースポット上には逆流しないと考えられる。

カソードテーブル周りの等電位面



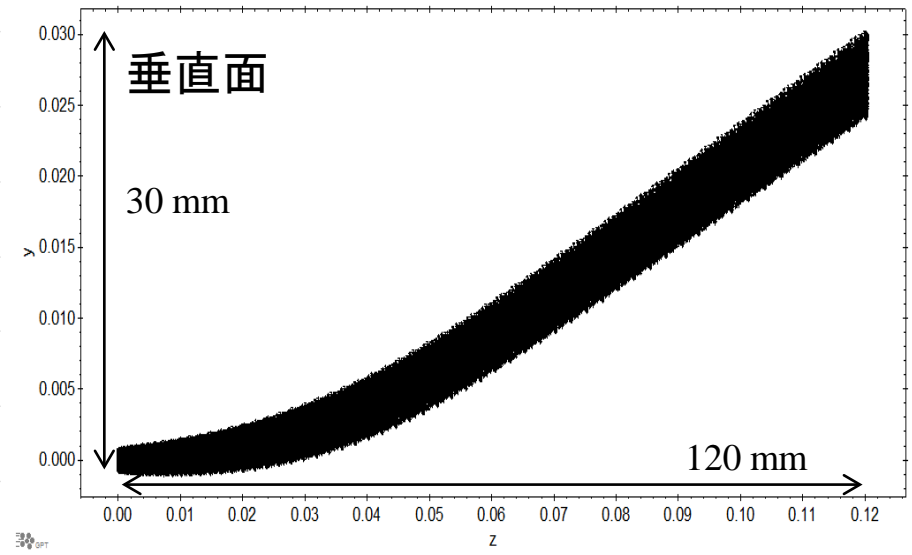
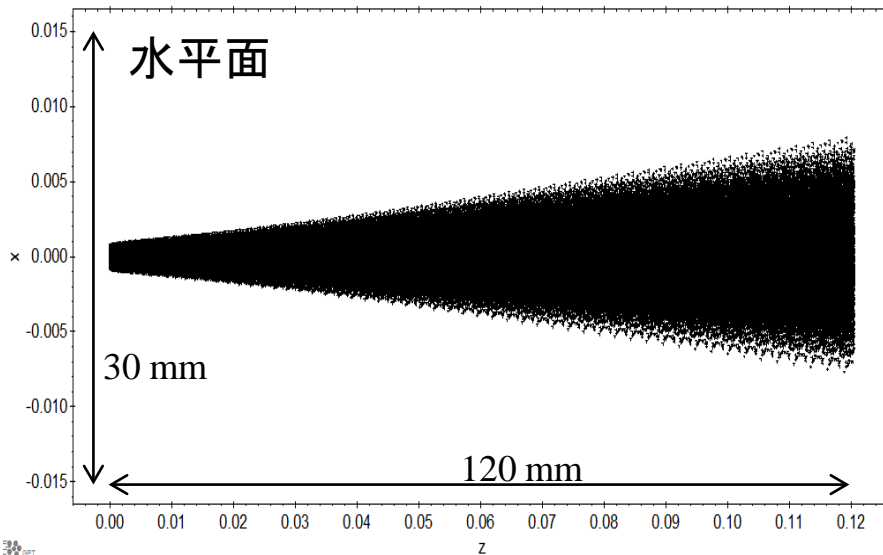
電子ビームの軌道計算

影響係数 σ_{NEA} を評価することを目的に、シミュレーションを用いて、
各々のバイアス電圧で逆流イオン数を評価

静電場: CSTスタジオ

電子ビームおよびイオントラッキング: GPT(General Particle Tracer)

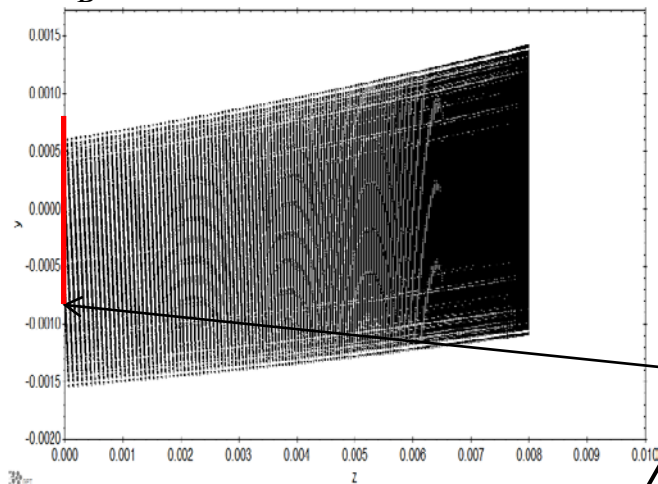
バイアス電圧-150Vの時の電子軌道。テーブルの影響で電子は上方に蹴られる



イオン逆流確率 $\rho(z)$

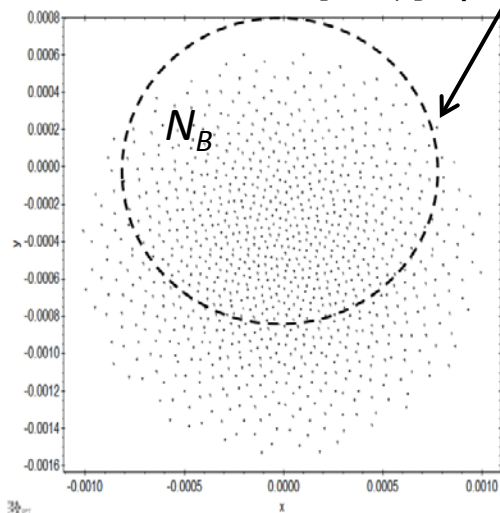
$V_B = -150$ V、 $z = 8$ mmからの逆流

- H^+ を仮定
- 各 z 位置で1000個のマクロ粒子を生成
- レーザー照射範囲に戻ってきた粒子を数える

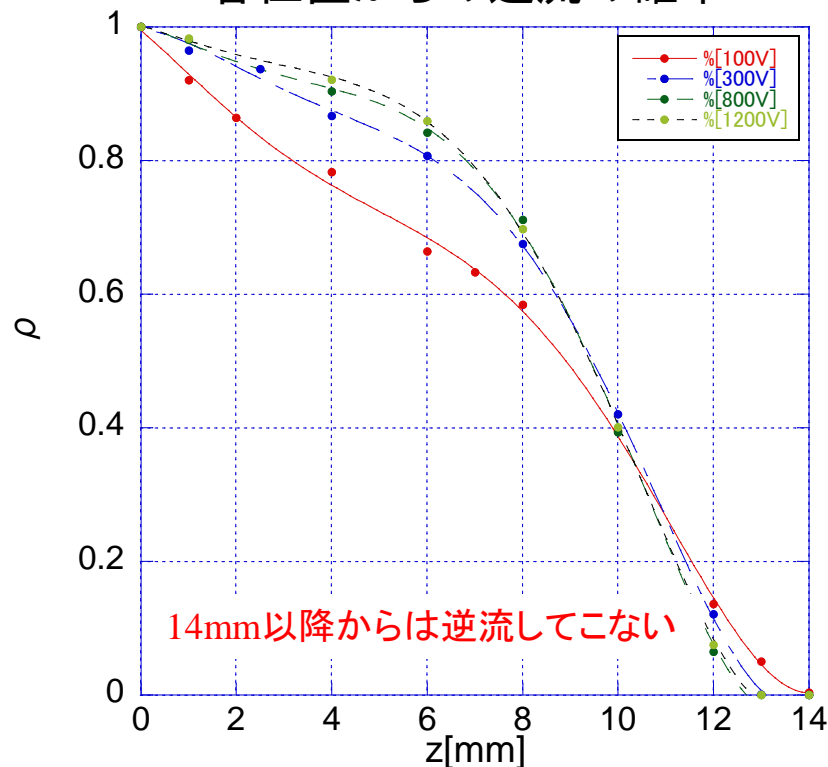


レーザー照射範囲

カソード上でのイオン分布



各位置からの逆流の確率



イオン化断面積 $\sigma(E)$

ここでは水素(H)を仮定

$$\sigma(E) = \frac{\pi e^2}{(4\pi\epsilon_0)^2} \frac{1}{E^2} \left(\frac{E}{I} - 1 \right)$$

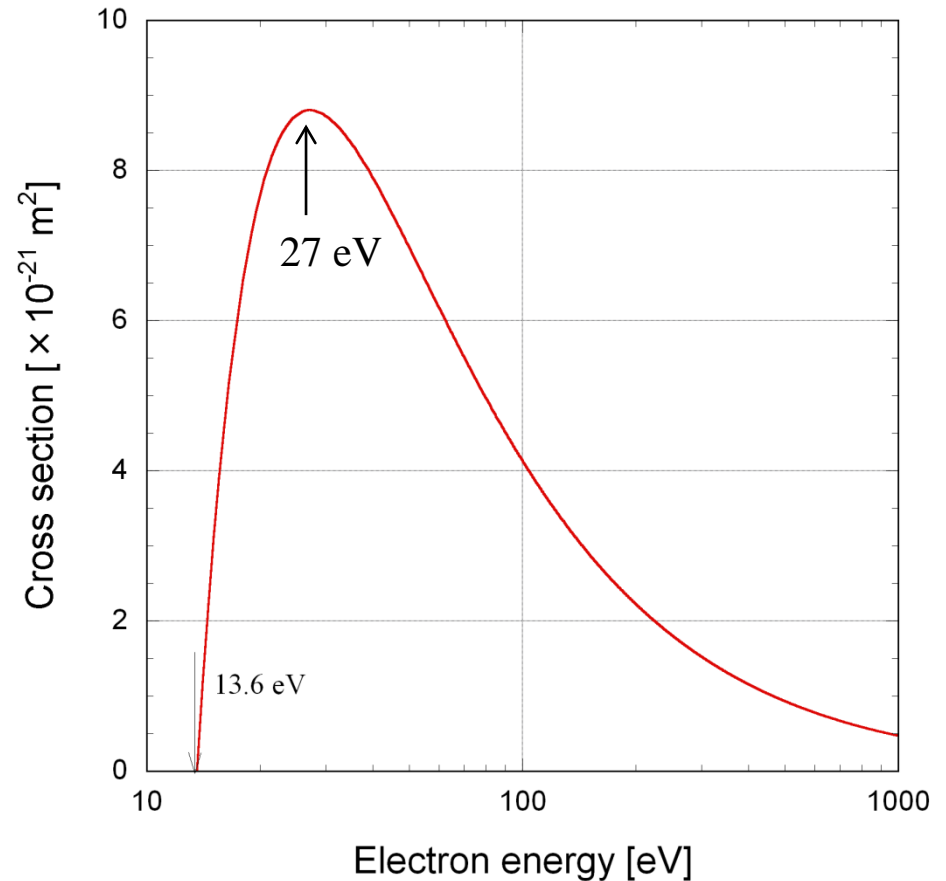
E ; 電子のエネルギー [eV]

I ; 水素のイオン化エネルギー (13.6 eV)

e ; 素電荷 [C]

ϵ_0 ; 誘電率 [F/m]

Thomsonのイオン化断面積(水素)

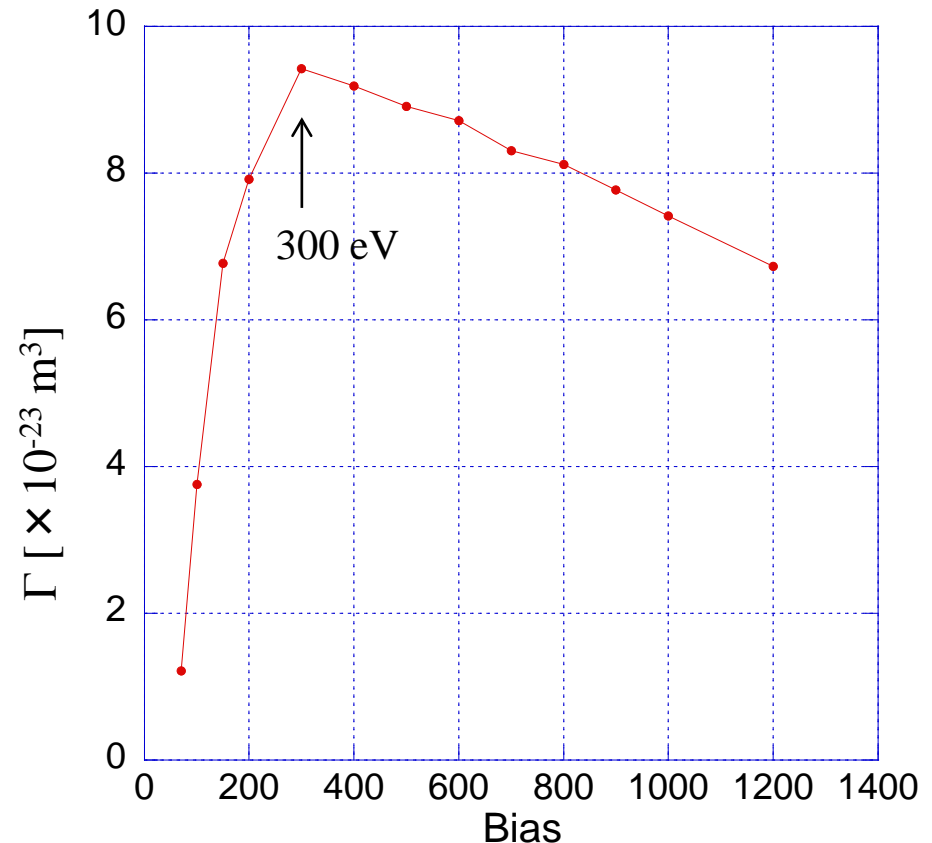


$\Gamma(V_B)$ の数値計算

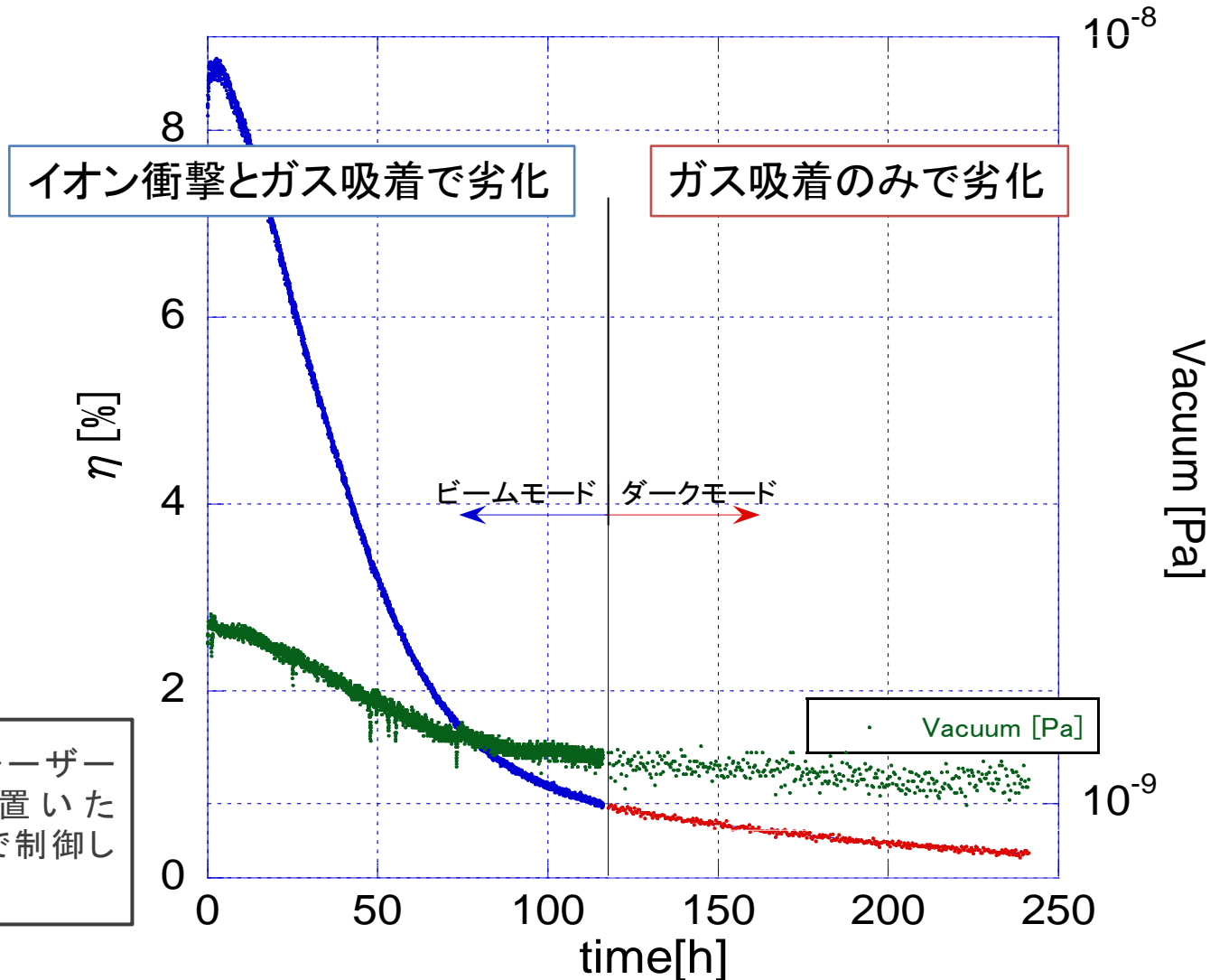
$$\Gamma(V_B) \equiv \int_0^z \rho(z) \sigma(E) dz$$

E と z は比例関係にあると仮定し、バイアス電圧ごとに比例係数を求めた。(イオンが逆流してくる範囲ではおおむね正しい。)

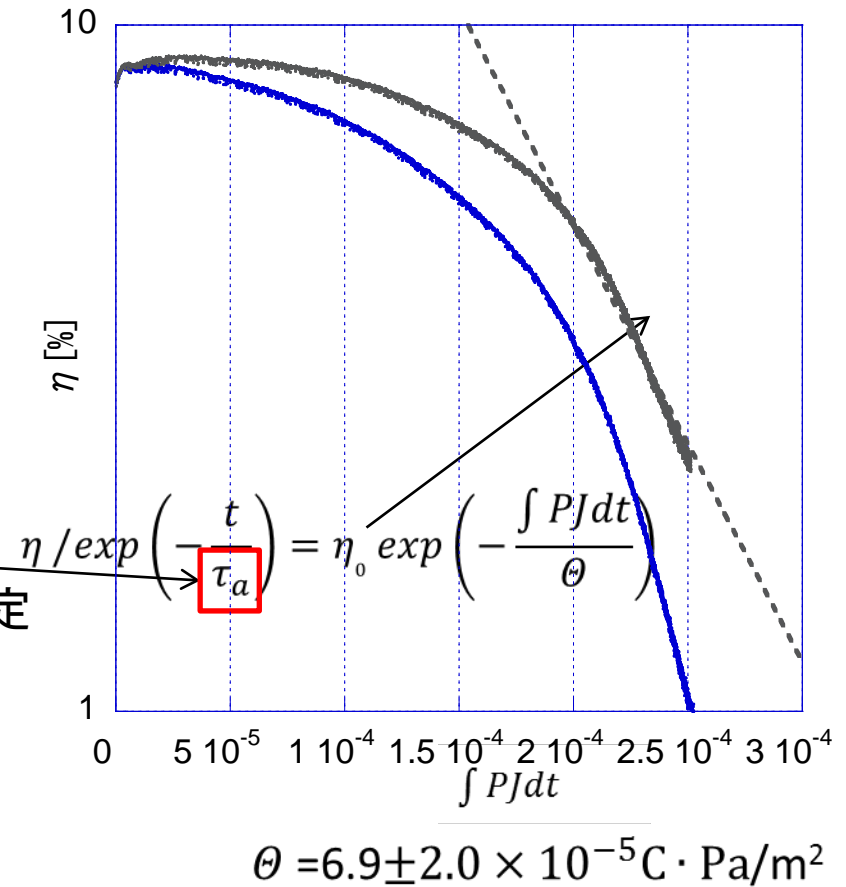
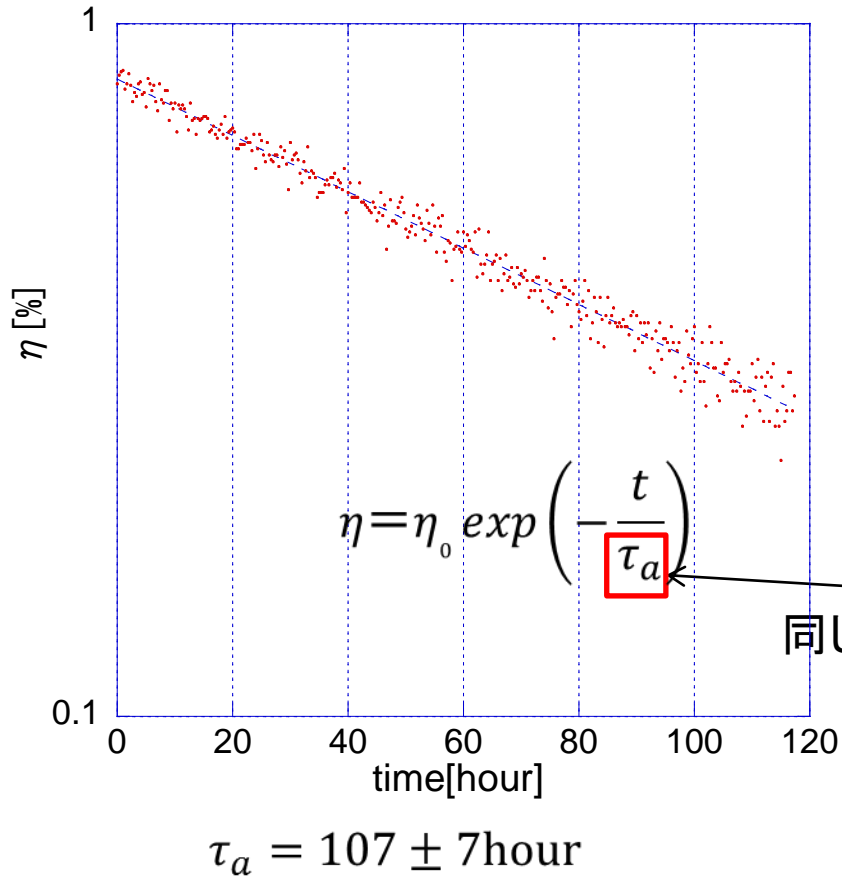
積分範囲は0~14 mm



電荷量寿命と暗寿命の測定

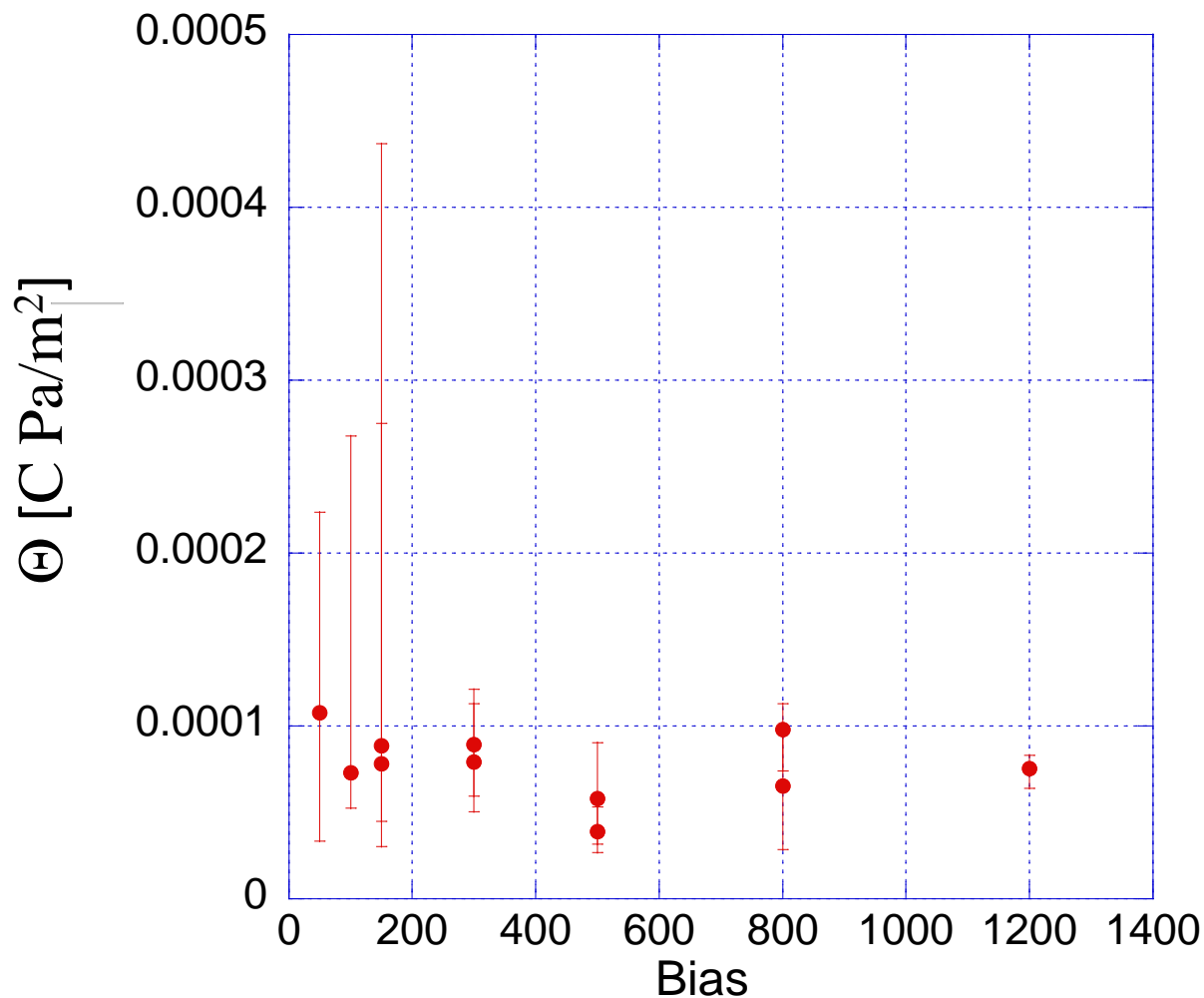


電荷量寿命の解析

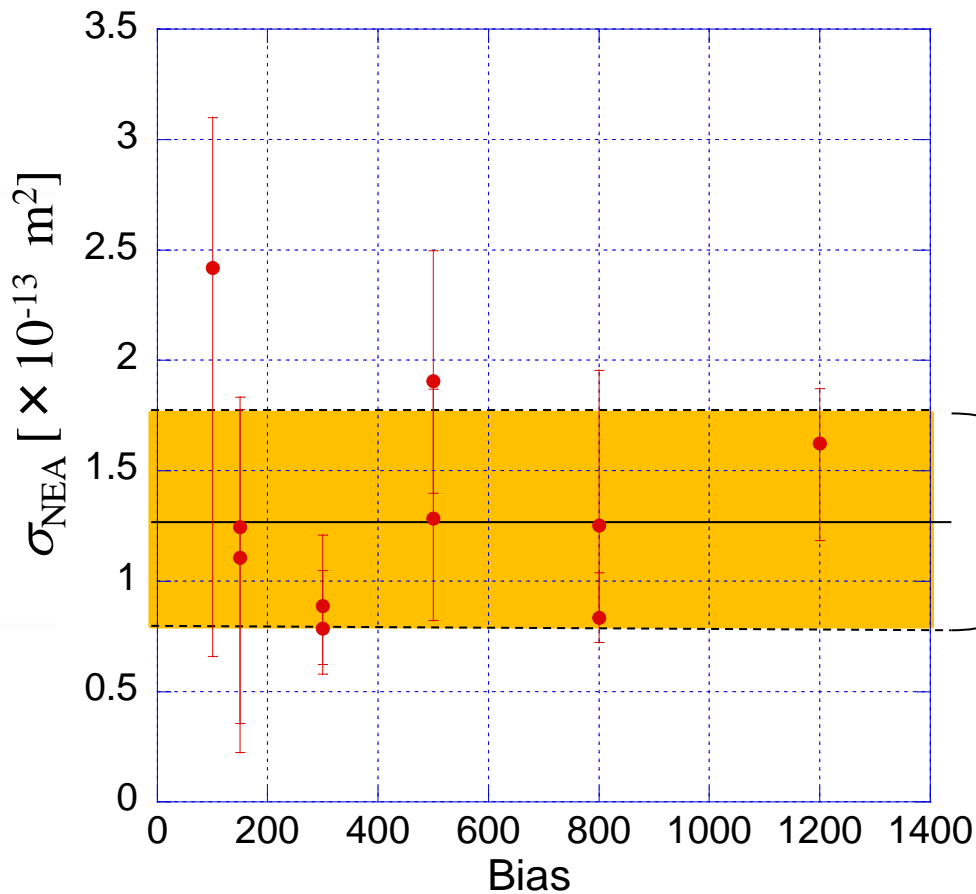


同じと仮定

寿命 Θ のバイアス電圧依存性



σ_{NEA} のバイアス電圧依存性



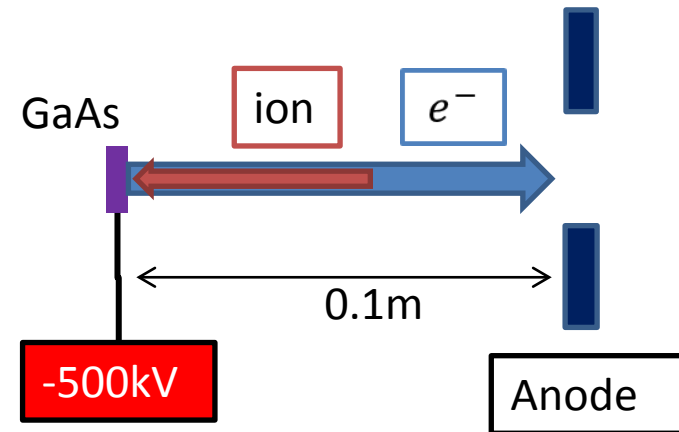
$$\sigma_{NEA} = \frac{ekT}{\theta \Gamma(V)}$$

↓

測定結果 シミュレーション結果

σ_{NEA} の平均値
 $1.33 \pm 0.49 \times 10^{-13} \text{ m}^2$

ERLでの電子銃



$$\theta = \frac{ekT}{\sigma_{NEA} \int_0^z \rho(z) \sigma(E) dz}$$

$$\rho(z) = 1, \\ z = 0.1\text{m}, \\ T = 300\text{K}$$

$$\theta = 2.73 \times 10^{-3} \text{C}\cdot\text{Pa}/\text{m}^2$$

$$P = 1 \times 10^{-10} \text{Pa}, \\ \text{Beam spot} = 3.14 \text{mm}^2$$

$$1/e \text{寿命} = 85.7\text{C}$$

ERLにおいて10mA、2.38時間の連続運転

- イオン逆流を防止するoff center運転 (Cornell大等で、すでに実証)をおこなえば寿命は延びると考えられる。

まとめ

- イオン衝撃による量子効率の劣化プロセスをモデル化し、解析した。
- イオン衝撃による寿命のバイアス電圧依存性を調べた。
- 測定された範囲において、影響係数 σ_{NEA} は明確なバイアス電圧依存性を示しておらず、その平均値は $(1.33 \pm 0.49) \times 10^{-13} \text{ m}^2$ であった。
- σ_{NEA} をもとに、500kV-10mA電子銃で予測される運転可能時間を外挿により求めた。この場合、NEA-GaAsカソードは2.4時間の連続運転が可能であることを示す。