マイクロストリップ電極を用いた一相式液体キセノンTPCの開発

島田大輝
名古屋大学　宇宙地球環境研究所　宇宙線研究部　修士1年

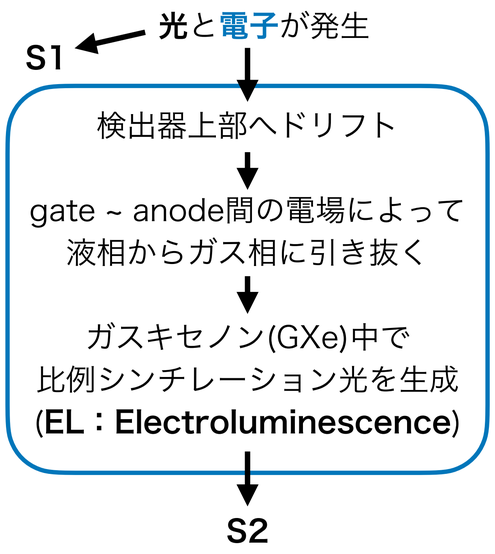
I. Introduction

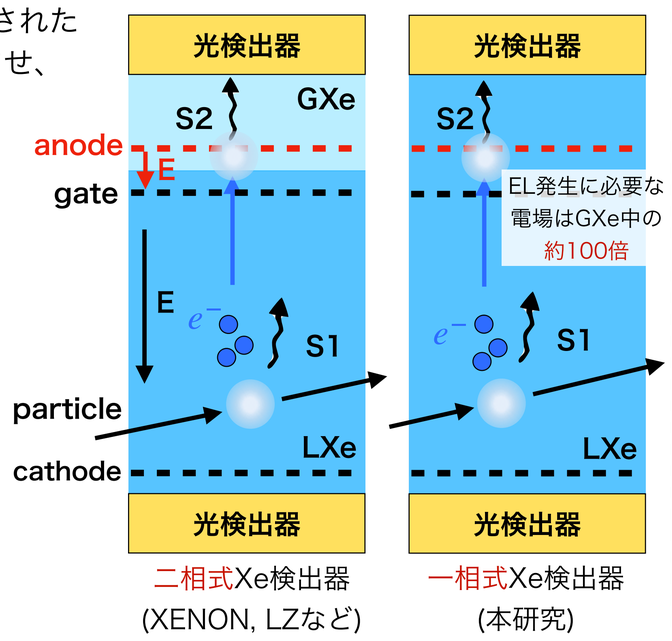
▶ **暗黒物質**
宇宙の全エネルギー密度の約27%を占め、光学的に観測できない物質。

▶ **WIMPs (Weakly Interacting Massive Particles)**
相互作用が非常に弱く、重い質量を持つ未知の素粒子の総称。
液体キセノン(LXe)をシンチレータとした検出器は、WIMPsの推定質量域(10GeV~1000GeV程度)に対して高い感度を持つ。

▶ **液体キセノン検出器の暗黒物質検出原理 (従来の二相式の場合)**

液体キセノン(LXe)中で暗黒物質に反跳されたXe原子核は他のXe原子を励起・電離させ、





II. マイクロストリップ電極の開発動機

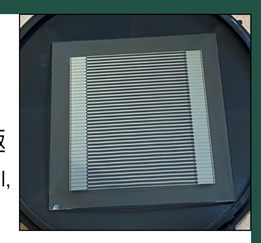
▶ **大型化に伴うワイヤー電極の問題**
自重や電磁気力によるたわみの影響で
断線やショート、放電の危険があり

先行研究 (G.Martinez-Lema et al JINST 19 P02037)
- 石英への金属パターン成膜による
マイクロストリップ電極モデルを3つ提案
- anode線幅の細さが高電場実現の鍵
(EL発生の電場閾値 ~ 465 kV/cm)

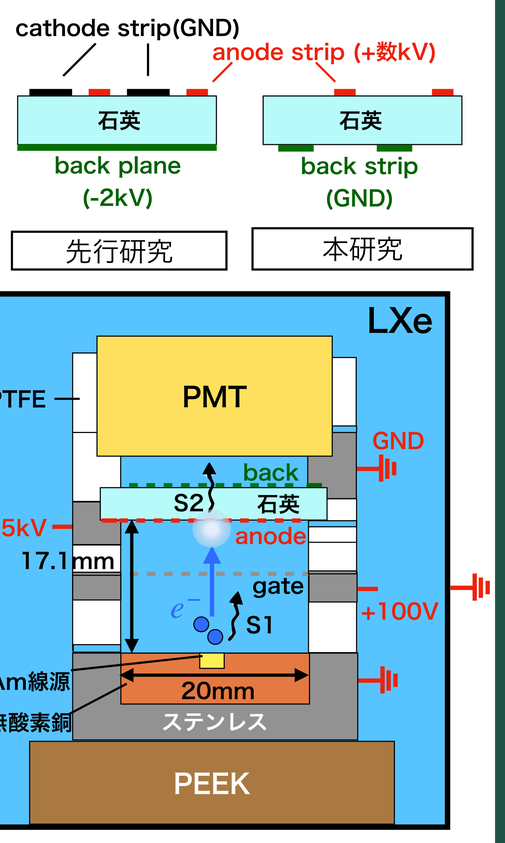
本研究では先行研究者が制作したものと異なる電極モデルに着目し、二相式特有の液面管理が必要ない一相式LXe検出器を開発

▶ **本研究の目標**
- マイクロストリップ電極によって
LXe中でELが生成可能か検証
- 単色エネルギーのα線源を用いて
S2 Gain [ph/e]を評価

本ポスターでは設計・製作方法について発表



先行研究者の電極
G.Martinez-Lema et al,
arXiv:2312.14663

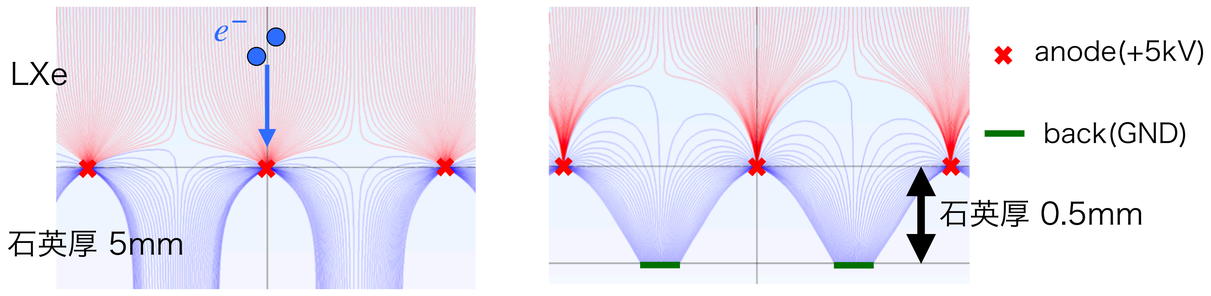


設計した検出器のポンチ絵

III. 電場シミュレーションを用いたgate~anode間電場の最適化

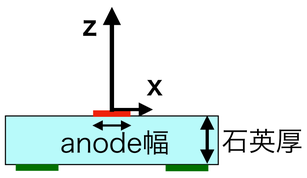
▶ **電場シミュレーションの目的**
1. 電極設計におけるパラメータ(anode線幅、石英厚など)が
電界形成に与える影響の評価
2. LXe中のEL発生の電場閾値~465kV/cmを超えるか検証し、
実際に作成する電極のパラメータを決定

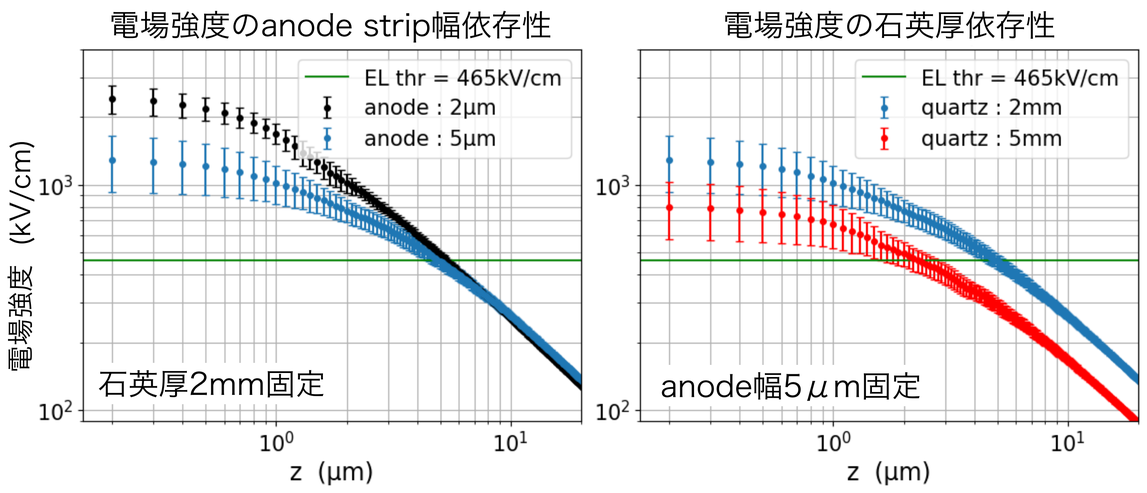
o シミュレーションには有限要素法に基づく解析ソフト(COMSOL)を使用



COMSOLによる電気力線プロットの例
石英厚が薄いほどback~anodeストリップ間の電気力線(青線)が
液体キセノン中に回り込んで電気力線の壁を作る

▶ **結果**
anode幅が細いほど、石英厚が薄いほど電場強度が増大
z ~ 数μm以下からEL閾値(~465kV/cm)越えを確認



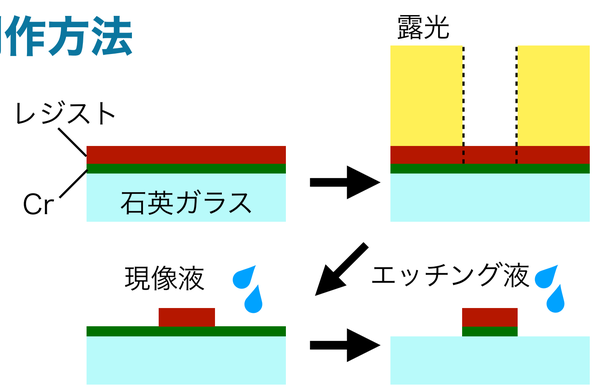


※エラーバーは電極面方向(x方向)の電場強度の標準偏差を表す

制作する電極はanode幅 3 & 5μm、石英厚2mmに決定

IV. マイクロストリップ電極制作方法

一般的なパターン成膜の流れ
1. 基板片面にCr成膜＆レジスト塗布
2. パターンを露光してレジストを変質
3. 現像液で変質したレジストを除去
4. 酸性のエッチング液でCrを除去



両面へのパターン成膜は実績が少なくチャレンジング
豊田工業大学のマイクロメカトロニクス研究室と共同研究を行い、成膜方法を最適化

両面成膜における主な工夫点
- レジストで成膜済みの面を保護しながら反対面をエッチング
- 露光時にステージとの接触を防ぐため保護シートを貼付
- back側マスクレス露光はanode側Cr膜の凹凸により像がぼやけやすい
→ 事前にパターン成膜したマスクを射影するマスクアライナー露光に

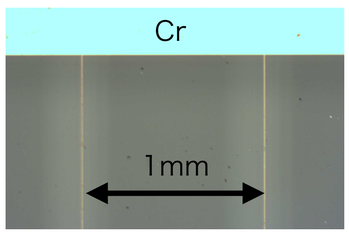
▶ **詳細な電極制作の流れ**

i) メーカー処理
1. 両面Cr100nm成膜
2. 両面レジスト540nm塗布

ii) anode側成膜
1. back側に保護シートを貼付
2. マスクレス露光
3. 保護シートを剥がす
4. Crウェットエッチング

iii) back側成膜
1. 別の石英ガラス基板(マスク)に
back側パターンを成膜
2. back側レジスト再塗布
3. anode側に保護シートを貼付
4. マスクアライナー露光
5. 保護シートを剥がす
6. レジストでanode側を保護
7. Crウェットエッチング

o 真空紫外光を透過する石英ガラスでの
本番の成膜はこれから実施



条件出しでの
成膜結果

V. まとめ

▶ ワイヤー電極に代わる安定した電極としてマイクロストリップ電極を開発
▶ 電場シミュレーションを用いて、LXe中でEL発生可能な電極を設計
- 制作予定モデルでのEL電場閾値(~465kV/cm)超えを確認
- anode strip幅の細さと石英厚の薄さが高電場形成の鍵

▶ 電極制作は両面成膜であるために工夫が必要

今後の展望
- □ 豊田工業大学で電極を制作
- □ 電極を検出器に導入し、真空中での導通・安定性確認
- □ LXe中でのEL生成可否の検証、S2 Gainの評価

} 9月物理学会まで