

宇宙線反粒子探索実験GAPSへ向けたシリコン検出器の開発

小財正義 (ISAS/JAXA)、福家英之 (ISAS/JAXA)、清水雄輝 (神奈川大)、
宗像一起 (信州大)、加藤千尋 (信州大)、C. J. Hailey (Columbia Univ.)、K. Perez (MIT)

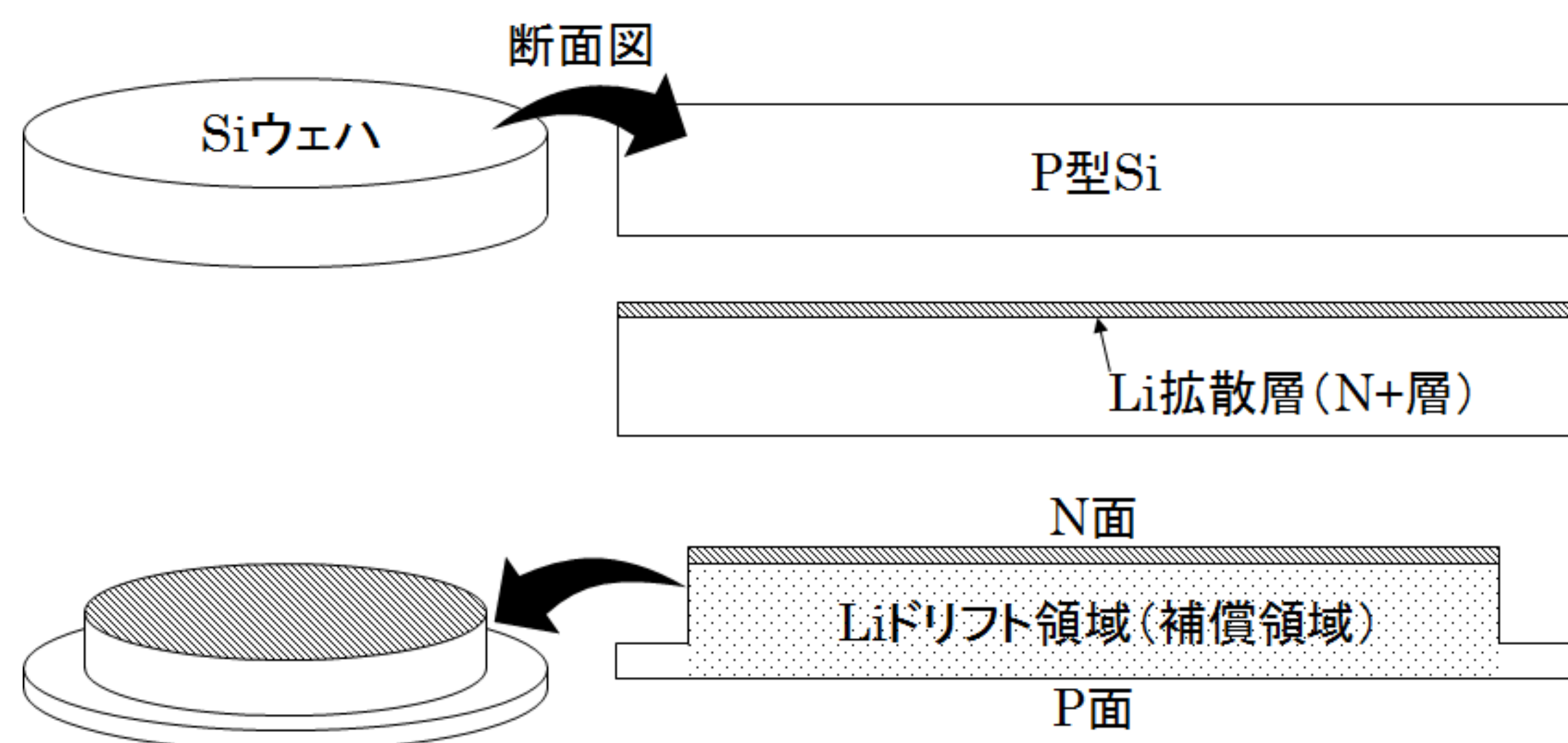
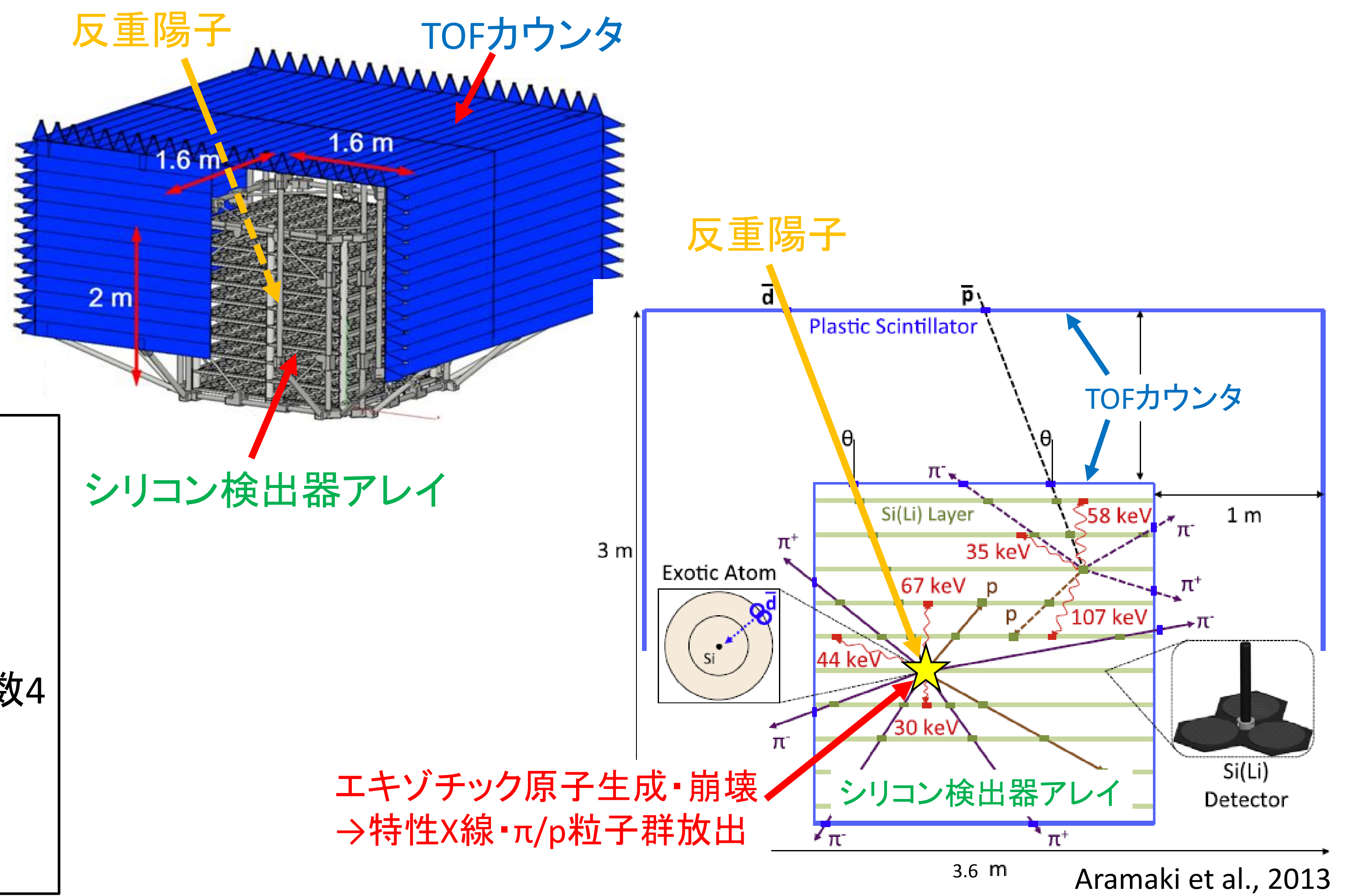
概要
GAPS実験では暗黒物質の探索プローブとして注目される低エネルギー宇宙線反粒子の高感度観測を目指している。GAPSのシリコン検出器アレイは、反粒子の捕獲とそれにより生成されるエキゾチック原子からの放射線群検出を担い、厚さ2.5 mm・直径10 cmのリチウムドリフト型シリコン素子1350個で構成される。ここでは、これまでに無い大型素子の量産を実現する為に進めている、リチウムドリフト手法やリーク電流削減手法の開発状況を報告する。

GAPS (General Anti-Particle Spectrometer) 実験

- 宇宙線反重陽子の観測による暗黒物質の探索
- エキゾチック原子を利用した新しい検出原理を採用
- NASA南極周回気球で2020年に第1回の観測を行う

GAPSシリコン検出器

- 反粒子ターゲット物質 兼 エキゾチック原子生成放射線群測定
 - ✓ 特性X線と π/p 粒子数から反重陽子を識別
- 要求仕様
 - ✓ エネルギー分解能: -35°C で数十keV X線に対してFWHM 4 keV
 - ✓ 厚い(2.5 mm)有感層、広い検出面積(直径10 cm)、セグメント数4
 - ✓ 135 個/層 \times 10 層 = 1350 個 敷き詰める
- 前例の無い大型素子の大量生産
 - ✓ 安定的な製造法の確立が必要

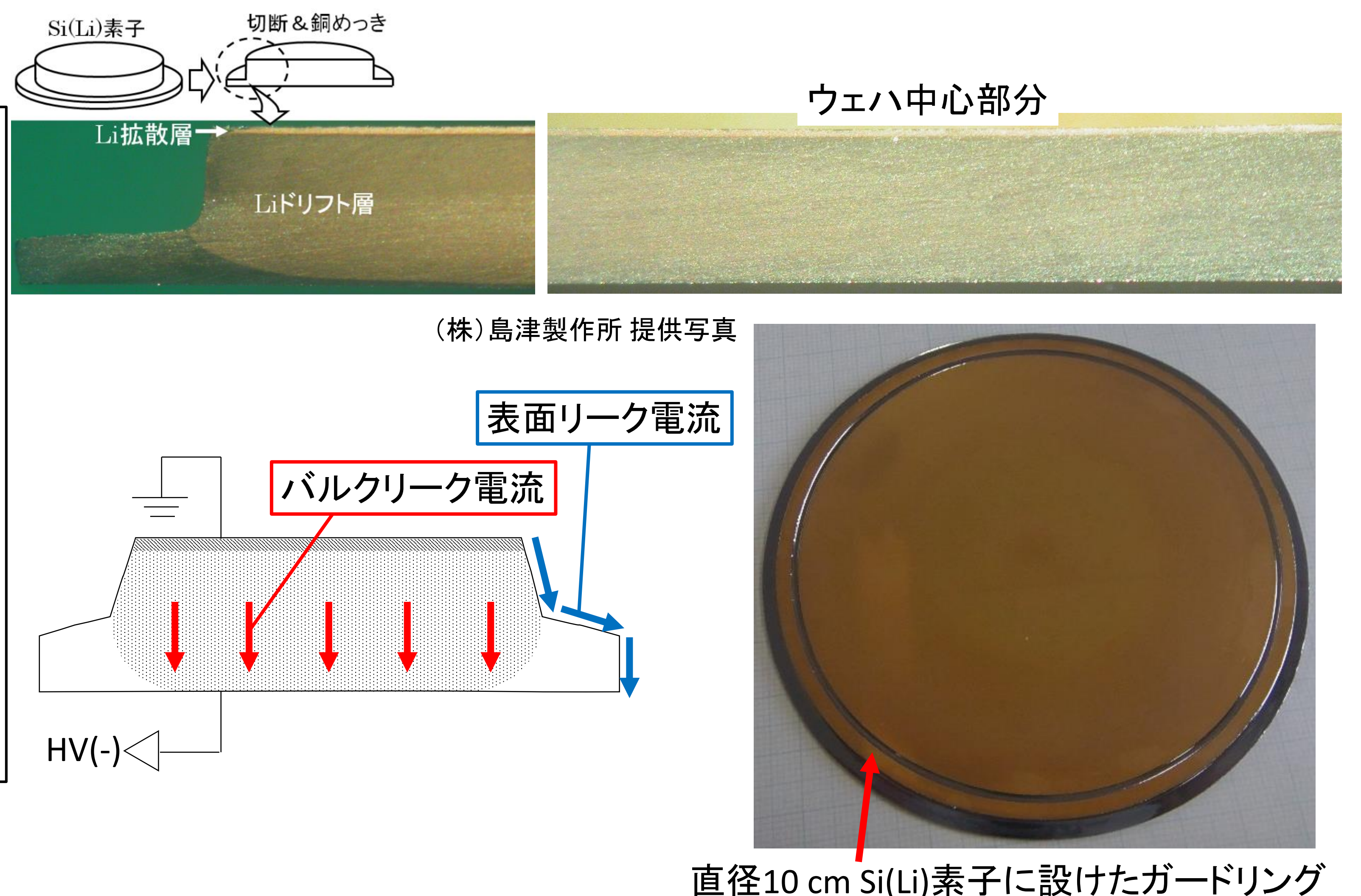


リチウムドリフト型シリコン(Si(Li))

1. P型(ホウ素ドーパ)シリコンウエハにリチウムを蒸着・拡散
 2. リチウムをドリフトさせ、アクセプタを補償する
- 超高純度Siを用いるよりも安価かつ大面積化・厚肉化が可能
 - pGAPS実験(JAXA大気球を用いた技術実証実験、2012年)により、気球飛翔環境でも機能する事を実証

量産化へ向けたSi(Li)素子製造法の研究

- 要素技術研究のため、In-house製造設備を構築
 - ✓ 1/2サイズ(直径5 cm)素子を製造、機能する事を確認
- 量産化へ向けて製造法の研究を進めている
- 高品質シリコン素材の開発
 - ✓ 高純度(酸素濃度 $10^{16}/\text{cc}$ 以下)、長ライフタイム($\sim 800 \mu\text{s}$)、高抵抗率($1.4 \text{ k}\Omega\cdot\text{cm}$)の素材を低コストで得る事に成功
- 直径10 cmウエハへのリチウム拡散・ドリフト装置を構築
 - ✓ リチウムを均一にドリフトできる事を確認
- リーク電流削減方法の研究
 - ✓ ドリフト工程の最適化+P極の形成 \rightarrow バルクリーク電流の削減
 - ✓ ガードリングの形成 \rightarrow 表面リーク電流の削減



まとめ

- GAPSシリコン検出器
 - ✓ 反粒子減速材 兼 エキゾチック原子生成放射線の測定
 - ✓ 厚い有感層、広い検出面積、安定的な製造法の確立が要求される
 - ✓ リチウムドリフト型シリコンを採用
- 高品質なシリコン素材を低コストで得ることに成功
- 大面積素子でも均一なリチウムドリフトができる事を確認
- これからの課題
 - ✓ リチウム拡散・ドリフト工程の加熱・電圧印加パラメータの最適化
 - ✓ リーク電流削減方法の強化(P極の構成・ガードリング)
 - ✓ 効率的なセグメント形成方法の開発
- スケジュール



- 謝辞
 - ✓ 本研究の一部は科研費(20740166, 22340073, 26707015)、宇宙理学委員会戦略的開発研究費を受けて実施しました。pGAPS実験では、JAXAが提供する大気球による飛翔機会を利用しました。
 - ✓ シリコン素子の開発では、株式会社SUMCOと株式会社島津製作所に多大なるご協力を頂いております。ここに謝意を表します。