

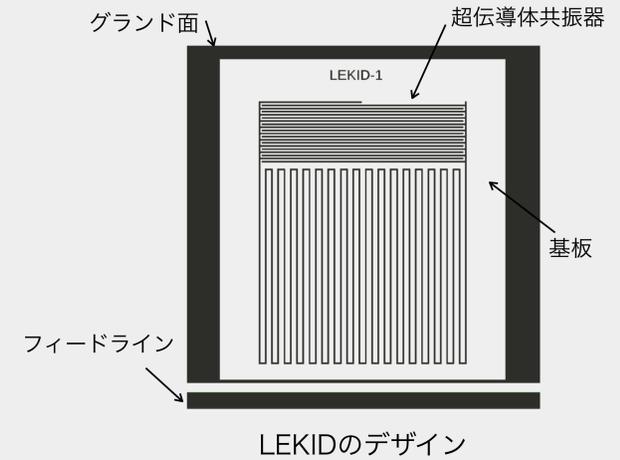
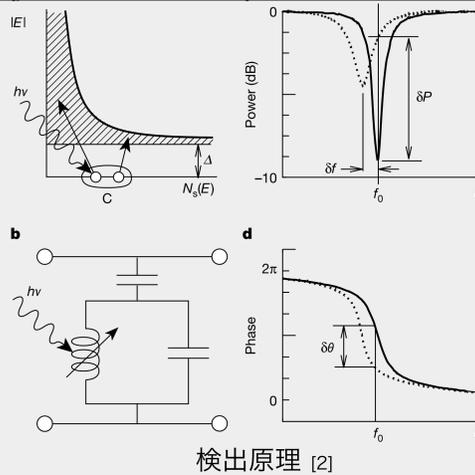
14 高感度超伝導検出器開発を目指したハフニウム薄膜の成膜条件の最適化

亀井雄斗^{1,2}、石徹白晃治²、伊藤凌太^{1,3}、美馬寛⁴、大谷知行^{1,3}、田井野徹⁵

¹理研テラヘルツイメージング研究チーム, ²東北大RCNS, ³東北大理, ⁴NICT, ⁵埼玉大学工

1. 集中定数型力学インダクタンス検出器 LEKID – Lumped element kinetic inductance detector –

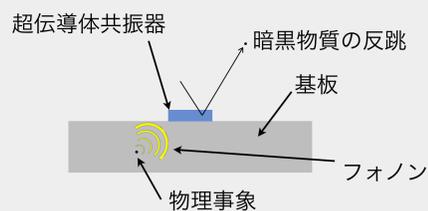
- 超伝導体薄膜で構成された共振器
- エネルギー検出器として動作
 - エネルギーギャップ 2Δ を超えるエネルギー流入
 - クーパー対破壊
 - 超伝導体の力学インダクタンスが変化
 - 共振周波数変化として読み取る
- 単層薄膜を用いるため作製が容易
- 多素子化に向く
- 従来のKIDに比べ、有感面積が広い^[1]



2. 超伝導体 ハフニウムHfの利用

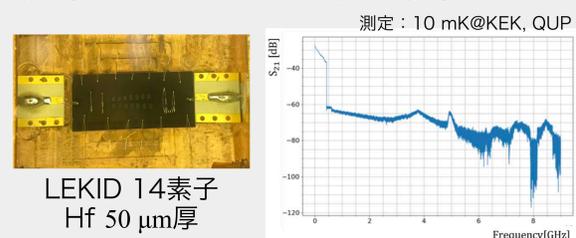
- KIDの運用には T_c の1/10以下の温度下が必要
- エネルギーギャップと転移温度の関係 $2\Delta = 3.25k_B T_c$
 - 低い T_c が高感度化に寄与
- ハフニウム(Hf)の転移温度 128 mK^[2]
 - KIDで利用した場合、動作環境は~12 mK以下
 - Hfが希釈冷凍機で到達できる最低温下で実用可能な材料
- アニールや成膜時温度の変更で T_c 調節可能^[3]

⇒ 軽い暗黒物質や
極稀事象探索へ応用



3. 成膜条件最適化の動機

- 試作したLEKIDの極低温評価



超伝導転移確認。
共振は確認できず。

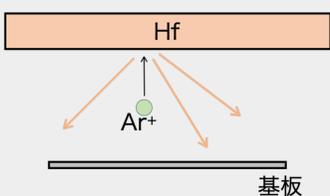
- 超伝導薄膜はクリーンルーム内で成膜。
2025年度にクリーンルームがキャンパス内で移転のため、装置の調整が必要



⇒ 成膜条件を決め直し、
LEKIDの応答を確認したい

4. ハフニウムの成膜・性質評価手法

- ハフニウム薄膜成膜手法：RFスパッタリング
- ターゲット：Hf + Zr (Zr ≤ 3%)、純度99%



設定可能な主なパラメタ

- Ar圧力
- 印加電力(Power)
- ターゲット-基板間距離
- 温度

⇒ Ar圧力と印加電力を変更し、膜質を評価。

基板はSi基板(380 umt)
スパッタ時間はいずれも5分



- RRR測定
RT測定により、常温時と液体窒素温度での残留抵抗比を評価

$$\text{残留抵抗比 } RRR = \frac{R(\text{room temp.})}{R(77\text{ K})}$$

- XRD測定
X線回折法により、ハフニウムの結晶性を評価



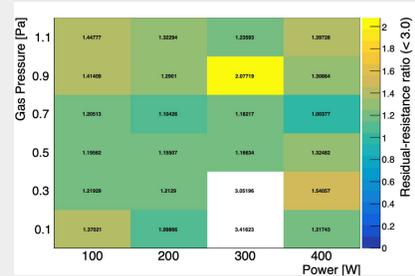
Hf(010), (002)のピークを測定。
intensityの比 $I(010)/I(002)$ を比較。
これが小さい方がKIDの性能が良い^[4]

5. 成膜条件の選定

- 成膜したハフニウム
銀色の金属光沢
(酸化をすると青みがかかる)
条件により異なるが >数十 nmの膜厚で成膜



- RRR測定
主だった傾向なし。
300 W、低圧力が比較的高RRR



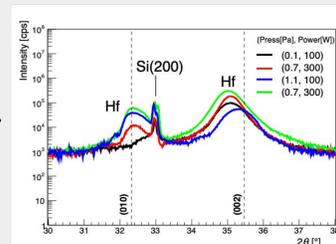
- XRD測定
Hfのピークを確認。
Hf(010)はスパッタ条件により
見えたり見えなかったり。

$$\min \{I(010)/I(002)\} = \infty$$

@Ar press. 0.1 Pa, Power 100 W etc...

$$\max \{I(010)/I(002)\} = 72\%$$

@Ar press. 1.1 Pa, Power 100 W



RRRとXRDで系統的なスパッタ条件
による確認できなかった。

To Do

- ◆ RRR測定、XRD測定それぞれで良い条件について T_c 確認
- ◆ LEKIDの作製・評価

本研究は光科学技術研究振興財団令和6年度研究助成を受けたものです。XRD測定は理化学研究所 創発物性科学研究センター (CEMS) 物質評価支援チームの協力による。

[1] S. Doyle *et al.*, J. Low Temp. Phys. 151, 1, 530–536 (2008).
[2] S. Kraft *et al.*, EUV, X-Ray, and Gamma-Ray Instrumentation for Astronomy IX, Vol. 3445 (SPIE, 1998) pp. 226–235.
[3] X. Li *et al.*, arXiv:2502.19818
[4] G Coiffard *et al* 2020 Supercond. Sci. Technol. 33 07LT02