アルミ超伝導トンネル接合素子(AI-STJ) を用いたCMB偏光カメラの開発 ーミリ波に対する感度試験ー

岡山大, 高工研^A, 理研^B, 総研大^C **美馬覚**〇, 石野宏和, 樹林敦子, 羽澄昌史^A, 住澤一高^A, 樋口岳雄^A, 吉田光宏^A, 田島治^A, 佐藤伸明^A, 佐藤広海^B, 大谷知行^B,有吉誠一郎^B,渡辺広記^C, 他 KEK測定器開発室: 超伝導ミリ波カメラ開発グループ

1. 研究背景

- CMB偏光の精密測定
 インフレーション時の重力波が B-mode偏光として観測される
- LiteBIRDからの検出器への要求
 60~250GHzをカバー(右図)
 超高感度:NEP~10⁻¹⁸W/√Hz
 - □ 1000個以上のアレイ





銀河の前景放射とB-mode偏光

STJ(Superconducting Tunnel Junction)

- 2枚の超伝導体で絶縁体をサンド イッチしたジョセフソン素子の一種
- 超伝導ギャップ(Egap=2Δ)と転
 移温度Tcの関係

 \square 2 \triangle (0K)=3.528kTc



S

■ エネルギーが △ 以上の電磁波検 出に適している



 $E_{gap} = 2\Delta$

エネルギー準位

S

STJ:超伝導体の選択 2∆(0K)=3.528kTc

超伝導体	臨界温度 (T_C)	ギャップエネルギー (2Δ)	フォトン検出閾値	ビデオ検出帯域
	[K]	[meV]	[GHz]	[GHz]
Nb	9.23	3.1	750	375-750
Pb	7.193	2.4	580	290-580
Ta	4.39	1.4	340	170-340
In	3.4035	1.1	270	135-270
Al	1.196	0.34	80	40-80
Ga	1.091	0.31	75	37-75
Mo	0.92	0.26	60	30-60
Zn	0.852	0.22	50	25-50
Cd	0.56	0.15	36	
Ti	0.39	0.10	24 10	
Hf	0.165	0.04	10 E	
				Dust
			du ete	
AIのフォトン検出とビデオ検出で、			Antenr	
60-25	0GHzのほぼ全均	_{或をカバ} ー可能	ВВ	
			0.01	

2010年日本物理学会

quency (GHz)

STJ:作成 ĸekプロセス装置



Nb wire

- フォトリソグラフィで製作
 構成
 - □ 基盤:高抵抗シリコン
 - □ アンテナ・伝送線:Nb
 - □ STJ:AI/AIOx/AI
 - □ 層間絶縁膜:SiO₂



2. アンテナ接合Al-STJ の設計

- 構成
 - □ ログペリアンテナ
 - □ 伝送線
 - □ STJの共振回路
- 150GHz、400GHzに感 度があるようにデザイン





3. IV特性

- 測定温度:0.32K
- 素子:アンテナ接合AI-STJ(400GHz)
 - □ ギャップ(2∆x2) :1.4mV x 2





Nbアンテナの上にAl-STJを作成したため 超伝導ギャップはNbとAlの中間値になっている

ミリ波に対する感度試験

- シグナルジェネレータ+逓倍器
 入力周波数:80GHz
- ミリ波照射によるSTJ電流出力
 の変化を測定
 - □ イメージング
 - □ パルス応答









STJ読み出しのミリ波イメージング

光学系		
Siレンズ STJ	スクリーン (パターン) ポリエチレンレンズ ホーン	

2010/03/20

STJ読み出しのミリ波イメージング



パルス応答



4. まとめ

- 目的:STJを使ったミリ波(60~250GHz)測定器の開発
- 進展
 - □ アンテナ結合Nb/AI-STJでミリ波を検出した
 - I イメージングを行った
- 今後
 - □ フーリエ分光器を用いた周波数特性を調べ、パラメータを最適化する
 - □ マルチアレイ化のために周波数ドメインでの読み出し開発をおこなう

2010/03/20

Ŋ.

ビデオ検出

■ 測定条件

- □ STJ温度:0.32K
- □ ミリ波周波数:90GHz

■ 結果

- □ 温度上昇では観られないギ ャップが外に広がるビデオ検 出特有の現象を確認
- □ h *ν* /e~0.3mV
 - 90GHzに対応





Ⅳ測定(入射強度変化)

2010年日本物理学会



周波数特性



ミリ波パルス照射

■ ミリ波

- 🗆 90GHz
- -1dbm(SG)

■ 照射による電圧の変化

- □ 照射前:1.1mV
- □ 照射時:1.8mV

■ 時定数

 RC=100~300nsec
 →R=380オームほどなので、 C=300~700pF。TEM等より 予測される2.2p~0.2pFより 大きい。読み出し系の浮遊容 量が見えていると思われる。





温度上昇とミリ波

照射の比較

- ともに磁場無し
- 測定条件
 - □ 上図
 - STJの温度を0.3→2.0Kまで変 化させた(赤線)。
 - ミリ波の導入無し。
 - □ 下図
 - STJ温度:0.3K
 - 温度ミリ波入射(90GHz)の強度を0→-2dbmまで変化。
 - 考察
 - 温度上昇ではギャップが外側に 広がるようなIVの変化は見られ なかった。フォトアシステッドトン ネルだと考えられる?大きさは 0.3mV程でこれは90GHzに対応



Ⅳ測定(温度変化)



Ⅳ測定(入射強度変化)

2010年日本物理学会

19

TEMによるAI-STJの断層写真1



光学顕微鏡像

FIB-SIM像

TEMによるAI-STJの断層写真2





2010/03/20