

2021年度国立天文台共同開発研究成果報告書

2022年 4月 27日

国立天文台長 殿

研究代表者	氏名	(ふりがな) たけこし たつや 竹腰 達哉
	所属・職	北見工業大学・助教
研究課題名	低熱収縮率シリコンアルミ合金を用いたホーンアンテナアレイの開発	
研究実績	<p>ミリ波サブミリ波帯での撮像観測には、極低温(<250mK)で利用する超伝導検出器アレイが用いられる。検出器は半導体プロセスによって製作され、シリコンウェハ上に実装されるが、検出器基板のパッケージ材や検出器に電磁波を集めるためのホーンアレイは、一般にはアルミで製作されるため、大型の焦点面ではアルミとシリコンの熱収縮率の差によって生じる検出器基板の破損やアライメントずれが大きな問題となっている。そこで本研究では、アルミの1/3の熱収縮率をもつ複合材である高シリコン・アルミ合金を用いた、ホーンアレイを含む検出器パッケージの製作技術の確立を目標とした。低熱膨張率、軽量、超伝導性を併せ持つ日本ファインセラミックス社のシリコンアルミ複合材「SA001」を用いたホーンアンテナとパッケージ構造のアレイ化、微細加工、表面処理の技術の確立するため、下記の研究を実施した。</p> <p>①グリーンランド望遠鏡に搭載するサブミリ波カメラ用のコニカルホーンアレイをSA001で製作し、大型アレイに必要な加工技術を確立した。シリコンアルミ材は難削材であるが、ダイヤモンドコート工具を用いた加工プロセスによって、100μmの側壁を持つコニカルホーンアレイの製作に成功した。ホーンアンテナの性能評価は、先端技術センターにて150 GHz帯でのビームパターン測定を行い、比較用に製作したアルミ製ホーンと同等のビーム形状を確認した。</p> <p>②SA001の更なる可能性を探るため、高いビーム対称性が得られるコルゲートホーンの製作検討を行った。製作者との検討の結果、ダイヤモンドコートによる微細な加工工具の製作が困難なため、500μm以下の溝構造での製作が難しいことが分かった。これによって、本研究で目指している100GHz以上でのコルゲートホーンの製作が困難なことが判明した。一方で、コニカルホーンと比べてビーム特性を改善できる多モードホーンは製作が可能であり、2段フレアホーンの試作に成功した。</p> <p>③超伝導磁気シールドの強化と、材料表面での伝送損失の低減を目指し、ニオブおよび金による表面処理をスパッタ装置とメッキ加工で行った。まず、ニオブについては北見工業大学の設備を利用しスパッタ処理を行い、2μm程度の薄膜を表面に形成することができた。液体窒素での試験により、低温でも剥離しないことを確認した。また伝送損失は、150GHz帯の導波管をシリコンアルミで製作し、Sパラメータの測定を実施した。その結果、-0.2dB/mm程度の損失が確認された。そのため、シリコンアルミに適用可能な非磁性金メッキ処理を業者とともに開発し、測定を行った結果、損失を金メッキ前のおよそ半分に抑えることができた。アルミや銅を利用した導波管に比べると損失は無視できないが、天文応用には十分な特性が得られた。</p> <p>なお、極低温検出器込みのホーンアンテナ性能評価を実施する予定であったが、開発の遅れにより間に合わなかったため、2022年度に実施する。</p>	
研究の活用	<p>本研究で得られたシリコンアルミ合金についての微細加工、スパッタ、メッキの技術は、大型アレイ化に向けたスケラブルなものであり、極低温検出器のパッケージ材、ホーンアンテナアレイ材として有望であることが分かった。今後グリーンランド望遠鏡用のサブミリ波カメラの焦点面検出器のパッケージ材・ホーンアンテナアレイ材に利用する計画である。さらに、SISミキサーを用いたヘテロダイン検出器アレイを含む、超伝導検出器アレイを用いた観測装置への利用が期待されるほか、次世代の大型サブミリ波望遠鏡LSTやCMB-S4といった計画におけるさらに大型の極低温焦点面を持つ観測装置にも欠かせない材料となることが期待される。</p>	

国立天文台共同開発研究 報告書(別紙)

氏名 竹腰 達哉	所属 北見工業大学	標題名 低熱収縮率シリコンアルミ合金を用いたホーンアンテナアレイの開発	ID 2101-0101
-------------	--------------	--	-----------------

回答日: 2022年 4月 20日

1 欧文論文(査読あり)

記述不要	著者(DOIが付与されていれば記述不要)	出版年	論文名	雑誌名	巻(※1)	ページもしくはID (DOIが付与されてい れば記述不要)	DOI	調査年度	備考
	Tatsuya Takekoshi, Kianhong Lee, Kah Wuy Chin, Shinsuke Uno, Toyo Naganuma, Shuhei Inoue, Yuka Niwa, Kazuyuki Fujita, Akira Kouchi, Shunichi Nakatsubo, Satoru Mima, Tai Oshima	2022	Material properties of a low contraction and resistivity silicon-aluminum composite for cryogenic detectors	J. Low Temp. Phys.	in press		https://doi.org/10.48550/arXiv.2204.08111		http://arxiv.org/abs/2204.08111

2 和文論文(査読あり)

筆頭著者名 ローマ字表記	著者(DOIが付与されていれば記述不要)	出版年	論文名	雑誌名	巻(※1)	ページもしくはID (DOIが付与されてい れば記述不要)	DOI (付与されている場合)	調査年度	備考
-----------------	----------------------	-----	-----	-----	-------	-------------------------------------	--------------------	------	----

3 国内・国際会議講演、学会発表等

記述不要	講演者	年	講演名	会議等名	開催場所・開催日	招待講演(※2)	調査年度	備考
	Tatsuya Takekoshi, Kianhong Lee, Kah Wuy Chin, Shinsuke Uno, Toyo Naganuma, Shuhei Inoue, Yuka Niwa, Kazuyuki Fujita, Akira Kouchi, Shunichi Nakatsubo, Satoru Mima, Tai Oshima	2021	Material properties of a low contraction and resistivity silicon-aluminum alloy for cryogenic detectors	19th International Workshop on Low Temperature Detectors (LTD-19)	Online Jul. 19-29, 2021			
	竹腰達哉, 李建鋒, 陳家偉, 宇野慎介, 井上修平, 長沼桐葉, 丹羽佑果, 藤田和之, 香内晃, 中坪俊一, 美馬寛, 大島泰	2021	超伝導検出器焦点面に適した低熱収縮シリコンアルミ合金の極低温特性評価	日本天文学会2021年秋季年会	オンライン・2021/9/15			

4 修士/博士論文

記述不要	著者	学位授与年度	論文名	学位授与大学	言語	取得学位	DOI (付与されている場合)	調査年度	備考
------	----	--------	-----	--------	----	------	--------------------	------	----

5 その他

--

(※1)巻がない場合は省略可。また、号の記載が必要な場合は巻の後ろに括弧で記載する。(例:57(12))
(※2)招待講演の場合には「*」を記載する。