

令和 5 年 6 月 7 日現在

機関番号：10106

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2022

課題番号：19K14754

研究課題名（和文）サブミリ波多色サーベイ観測による宇宙星形成史の解明

研究課題名（英文）Revealing the cosmic star formation history by multi-color survey at millimeter and submillimeter bands

研究代表者

竹腰 達哉（TAKEKOSHI, Tatsuya）

北見工業大学・工学部・助教

研究者番号：00714164

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,000,000円

研究成果の概要（和文）：ミリ波・サブミリ波撮像観測は、宇宙星形成史を理解するうえで重要な観測手法である。銀河の測光赤方偏移を効率的に決定できる多色撮像カメラの実現を目指し、開発的研究を実施した。まず、帯域の定義に重要なサブミリ波バンドパスフィルターを、高精度かつ安価なフレキシブルプリント基板(FPC)技術を利用し開発した。また、極低温検出器と光学的に結合させるホーンアンテナアレイを、大口径の焦点面に適した熱収縮率の小さいシリコンアルミ材を用いて製作した。極低温検出器の実験環境の整備も進め、極低温検出器の評価試験を実施した。今後、本研究の成果を活用し、科学観測用の次世代多色サブミリ波カメラの開発を推進する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究によって、次世代サブミリ波多色カメラの実現に欠かせない光学フィルターや大型焦点面用の材料開発、そして大型極低温検出器の測定環境の開発が完了した。6色撮像を目指すグリーンランド望遠鏡用サブミリ波カメラ計画においてこれらの技術を活用し、早期に遠方星形成銀河の多色撮像観測の実現が期待される。また、これらの技術のより広範な応用も期待される。特にフレキシブルプリント基板を用いた光学フィルターは、多色観測を志向する他の電波観測装置への利用や次世代通信での利用、また大口径ウェハーとの相性が良いシリコンアルミ複合体は極低温検出器に加えて量子コンピューター分野での用途も期待される。

研究成果の概要（英文）：Astronomical imaging at millimeter and submillimeter wavelengths is an important observational technique for understanding the history of cosmic star formation. I developed the technologies to realize a multicolor camera that allows the determination of the photometric redshift of star-forming galaxies in early universe. First, optical bandpass filters, which are important for band definition, were developed using commercially available flexible printed circuit technology. Second, a horn antenna array optically coupled to the cryogenic detector was fabricated using silicon-aluminum material with low thermal contraction suitable for a large focal plane. The experimental environment for the cryogenic detector was also developed and evaluation tests of the cryogenic detector were started. The results of this research will be used to promote the development of next-generation multicolor submillimeter cameras for scientific observation.

研究分野：電波天文学

キーワード：サブミリ波 銀河形成 電波天文学

1. 研究開始当初の背景

ミリ波およびサブミリ波帯連続波の広域探査観測は、初期宇宙の星形成史の理解を深めるうえで欠かすことのできない観測手法である。JCMT や ASTE といった大口径のサブミリ波望遠鏡に搭載された超伝導光子直接検出器を用いた多画素サブミリ波カメラ SCUBA や AzTEC などによって、可視・近赤外線では星間ダストに覆い隠されている爆発的星形成銀河種族 (サブミリ波銀河) の発見 (Hughes et al 1998, Nature, 391, 651) をはじめ、大サンプルによる統計 (e.g., Hatsukade et al. 2011 MNRAS, 411, 102)、強い重力レンズ効果を受けたサブミリ波銀河の検出 (Takekoshi et al, 2013, ApJL, 774, L30)、高赤方偏移天体の発見 (Ikarashi et al. 2015, ApJ, 810, 133) など、数多くの成果をもたらした。その後、ハーシェル宇宙望遠鏡の遠赤外線観測によって赤方偏移 3 程度までの星形成史の描像を詳細に明らかにされた (Gruppioni et al., MNRAS 432, 23, 2013 他) が、より遠方の赤方偏移 3 を超えるサブミリ波銀河では、可視・赤外線観測で知られている星形成率密度と矛盾する結果が示唆されており (Rowan-Robinson, et al. 2016, MNRAS, 461, 1100)、観測手法の違いによる重大な矛盾が生じている。サブミリ波銀河はミリ波・サブミリ波帯では赤方偏移によって見かけの明るさが変わらず、さらに可視近赤外線観測で顕著なダスト吸収の影響を受けないという観測的な利点がある。そのため、遠方に強みを持つミリ波から、赤方偏移決定に重要なサブミリ波にかけての多色観測により、測光赤方偏移の高精度な推定することで、高赤方偏移銀河の大サンプルを確立することが重要な観測的課題となっている。

2. 研究の目的

上記の科学観測を早期に実現するため、多色の測光観測を容易に実現する手法の開発を目的とした。当初、可視光・近赤外では一般的な、広帯域フィルターを交換するシステムを観測装置に導入することで、既存のサブミリ波カメラでも測光赤方偏移の推定に重要な 4 色 (150, 220, 270, 350 GHz 帯) の撮像観測を実現するためのシステム、すなわち「サブミリ波版フィルターホイール」の開発を目指した。バンドパスフィルターと駆動機構を組み合わせたフィルター交換機構を、サブミリ波カメラの冷却光学系に組み込むことで、可視・近赤外観測と同様のフィルターホイールによる多色観測が実現できる。一方近年、超伝導フィルターバンクの実用化 (e.g., Endo et al. 2019, Nat. Astron., 3, 989) が始まり、極低温検出器アレイを作成した半導体ウェハ上での多色化技術が進展している。本研究では、多色測光の科学観測に必要な、これらの多色観測手法の実現に必要な基礎開発を実施した。

3. 研究の方法

上記の多色撮像観測手法においては、特に必要な帯域を選択するサブミリ波光学フィルターの開発が極めて重要である。加えて、多色撮像に対応した観測装置の真空窓や光学素子には、これまでにない帯域幅を持つ反射防止膜を適用する必要がある。さらに、これらのコンポーネントを実際のサブミリ波カメラに搭載し、極低温検出と組み合わせて光学特性を評価する必要がある。本研究では、特に下記 3 つの課題を進めるべく、研究を実施した。

- (1) 安価・短納期でカスタマイズ可能なサブミリ波光学フィルターの開発
- (2) 大口径ウェハ上の極低温検出器群と光学結合するホーンアンテナアレイの開発
- (3) 多色撮像サブミリ波カメラの光学試験環境の整備および評価試験の実施

加えて、科学観測を見据えたデータ解析手法や装置開発計画についての検討も行った。

- (4) 多色同時撮像における極低温検出器の温度校正手法の開発
- (5) 多色サブミリ波カメラの実現に向けた次世代計画

4. 研究成果

(1) 安価・短納期のサブミリ波光学フィルターの開発

サブミリ波のバンド特性を規定する広帯域な光学フィルターは、研究目的である多色観測を実現するうえで最も鍵となる開発要素である。サブミリ波の光学フィルターを扱うメーカーは極めて限定されており、高価で納期が長く、科学観測を行うユーザーが求めるバンド特性での光学フィルターの入手は困難であった。本研究では、近年、急速に利用が進んだフレキシブルプリント基板 (FPC) 技術を用い、光学フィルターの製作を目指した。サブミリ波帯の光学フィルターとして要求される 10 ミクロン程度の微細構造加工が可能になった商用の基板製作サービスを利用して、安価、短納期、かつ高精度なサブミリ波光学フィルター (バンドパスフィルター) の設計・製作・評価手法を確立した。まず、電磁界シミュレーション COMSOL を用いたフィルター透過率の設計・計算手法を確立するとともに、フィルターを多層化することによって広帯域かつ急峻なバンド特性を持つフィルターを設計した。これを商用の基盤技術を用いて製作、治具を用いて適切な間隔で積層することで設計した光学フィルターを製作した。これに対してテラヘルツ時間領域分光法による透過特性の測定を実施したところ、電磁界シミュレーションによる設計とほぼ一致する透過特性が得た。さらに、液体窒素を用いた試験で極低温での使用も可能なことが確認できた。これによってサブミリ波バンドパスフィルターの設計・製作手法が確立された。これらの成果は査読論文として発表した (Uno et al. 2020, Appl. Opt., 59, 4143)。

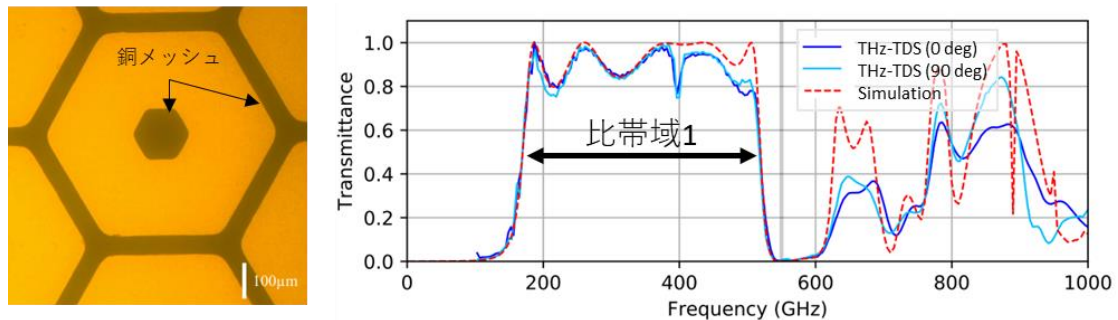


図1 (左) FPC 技術を用いたバンドパスフィルターの顕微鏡写真。カプトン基板上に銅のメッシュで構造を作る。(右) テラヘルツ時間領域分光法で得た透過特性とシミュレーションの比較。多色検出器に適した広帯域 (比帯域~1) のバンド特性を得た。高周波のリークはさらにローパスフィルターと組み合わせて用いることで除去できる。

(2) 大口径ウェハー上の極低温検出器群と光学結合するホーンアンテナアレイの開発

多色観測を実現するためには、光学フィルターや検出器との結合に用いるホーンアンテナ、そして極低温検出器までを含めた評価試験を実施する必要がある。これらに必要なホーンアンテナアレイの開発を実施した。次世代のサブミリ波カメラでは直径 15cm を超える大型の焦点面の利用が想定され、極低温検出器のシリコンウェハーと、ホーンアンテナやウェハー治具との間の熱収縮率の違いによる応力による検出器ウェハーの破損や、アライメントずれによる結合効率の低下などが懸念される。そこで、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複合材を用いた、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指して開発した。本材料は超伝導転移温度が 1.2K とバルクの純アルミ材と一致する。超伝導転移することから極低温検出器のサポー

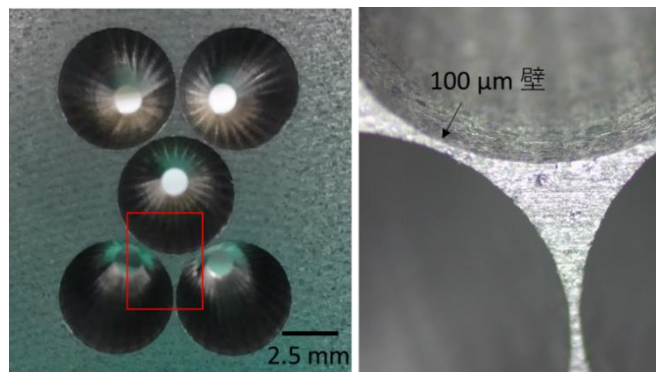


図2 シリコンアルミ合金 SA001 で試作した 5 素子コニカルホーンアンテナアレイ (左) と開口部の顕微鏡写真 (右)。

ト材に必要な磁気シールド性を確認した。さらに残留抵抗率の測定から、常伝導状態での熱伝導率が、先行研究で利用されているシリコンアルミ材と比べて極めて大きいことが分かった。

サブミリ波カメラ用のコニカルホーンアレイの製作においては、アレイ化に必要な 100 ミクロンの側壁を持つコニカルホーンアレイの製作に成功した。また、ホーンアンテナの性能評価は、150 GHz 帯でのビームパターンの測定を行い、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得た。以上から、シリコンアルミ複合体を用いたホーンアンテナの製作のめどが立った。本成果は査読論文として報告した (Takekoshi et al. 2022, J. Low Temp. Phys., 209, 1143)。

(3) 多色撮像サブミリ波カメラの光学試験環境の整備および評価試験の実施

サブミリ波光学フィルターと極低温検出器を組み合わせた光学試験の実施に必要な、環境整備を行った。特に極低温検出器であるマイクロ波力学インダクタンス検出器(MKID)の読み出し環境を整備するとともに、光学結合に必要なテスト用の焦点面モジュールを設計・製作した。さらに、大型極低温焦点面を設置するための極低温ステージを設計・製作した。異なる温度ステージ(4K, 2K, 350mK, 250mK)間の保持材料には、極低温での熱伝導率が極めて小さな等方性黒鉛を利用し、冷却サイクルを短くしながらも極低温ステージへの熱流入を抑えるものとした。これらを国立天文台内に設置されている冷凍機に組み込み、極低温検出器の読み出し試験を実施したところ、MKID の運用に必要な 250mK 以下を達成するとともに、検出器信号の読み出しにも成功した。

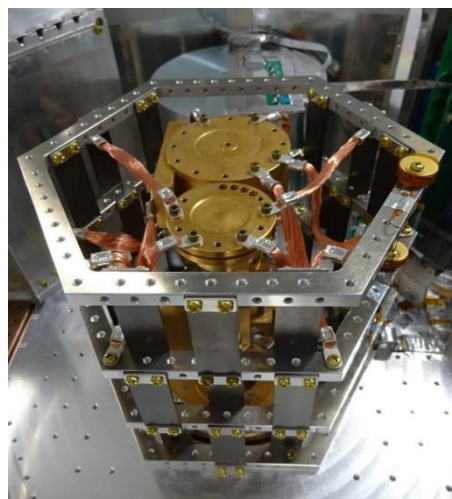


図 3 等方性黒鉛を利用した極低温焦点面モジュール。下から 4K, 2K, 350mK, 250mK ステージ。

(4) オンチップフィルターバンクを利用した極低温検出器の強度較正手法の開発

極低温検出器 MKID の吸収および再放射の影響が大きい大気下での温度較正手法は、重要な課題である。2017年にASTE'望遠鏡に搭載されたサブミリ波受信機、DESHIMA (Endo et al. 2019, Nat. Astron., 3, 989) の測定データを利用し、強度較正手法の確立を試みた。大気吸収モデルと MKID の応答関数を考慮した較正モデルを構築したところ、様々な大気条件下で 4%の温度精度を持つキャリブレーションモデルの構築し成功した。本成果は査読論文として報告した (Takekoshi, et al. 2020, J. Low Temp. Phys. 199, 231)。

(5) 本研究で得られた成果のまとめと今後の研究への発展性

本研究によって、次世代の多色サブミリ波観測に向けた観測装置のコアとなる技術が確立されるとともに、次世代のカメラ開発に向けた準備が整った。一方で本研究を推進するうえでの前提となる研究環境が大きく変わりつつある。本研究の開始当初、代表者がこれまで開発を推進し、搭載を検討してきたチリ・アタカマ砂漠に設置されている ASTE 望遠鏡用のサブミリ波カメラでの多色観測の実現を目指していたものの、本サブミリ波カメラの今後の運用が困難になったため、新たなサブミリ波カメラ開発の検討を行うこととなった。それに伴い、多色化の手法についても改めて検討を行ったところ、DESHIMA で実績があり、周波数方向の信号を有効に活用できる超伝導集積回路を用いたオンチップフィルターを利用した多色同時撮像観測を目指すこととなった。またグリーンランドに設置されているグリーンランド望遠鏡 GLT に搭載できる新たなサブミリ波カメラ開発の議論を進め、今後は本サブミリ波カメラの光学系および焦点面検出器を更新し、GLT への搭載に向けて開発を推進することになった。GLT 用カメラでは図 4 に示すように最大 6 色の同時撮像を行い、

ハーシェル望遠鏡よりも遠方のサブミリ波銀河において、これまでにない高赤方偏移星形成銀河の大サンプルの確立を目指す。今後は、本研究で開発された要素技術やシステム、すなわち光学フィルターやホーンアンテナアレイの技術、そして極低温検出器の測定環境を活用し、早期の科学観測を志向した次世代サブミリ波カメラの開発を加速させる。

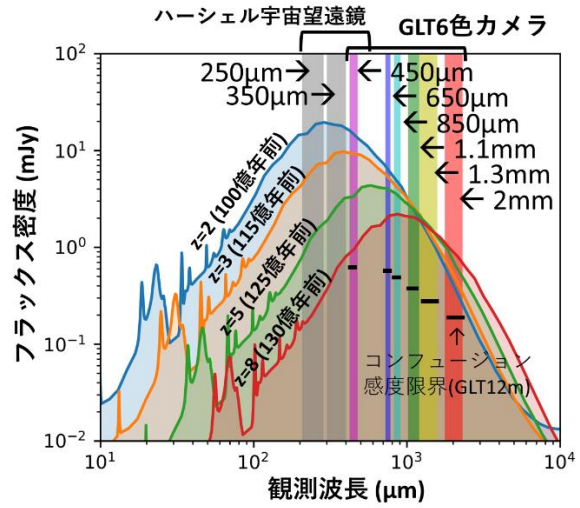


図 4 同じ明るさのサブミリ波銀河を異なる赤方偏移で観測したときのスペクトルと、GLT6 色カメラの観測波長帯の関係。明るさのピーク波長の違いから赤方偏移を決定でき、ハーシェルより遠方の銀河に迫ることができる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Uno Shinsuke, Takekoshi Tatsuya, Oshima Tai, Yoshioka Keisuke, Wuy Chin Kah, Kohno Kotaro	4. 巻 59
2. 論文標題 Demonstration of wideband metal mesh filters for submillimeter astrophysics using flexible printed circuits	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Optics	6. 最初と最後の頁 4143 ~ 4143
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1364/AO.389605	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Takekoshi Tatsuya, Karatsu Kenichi, Suzuki Junya, et al.	4. 巻 199
2. 論文標題 DESHIMA on ASTE: On-Sky Responsivity Calibration of the Integrated Superconducting Spectrometer	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Low Temperature Physics	6. 最初と最後の頁 231 ~ 239
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10909-020-02338-0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Takekoshi Tatsuya, Lee Kianhong, Chin Kah Wuy, Uno Shinsuke, Naganuma Toyo, Inoue Shuhei, Niwa Yuka, Fujita Kazuyuki, Kouchi Akira, Nakatsubo Shunichi, Mima Satoru, Oshima Tai	4. 巻 209
2. 論文標題 Material Properties of a Low Contraction and Resistivity Silicon/Aluminum Composite for Cryogenic Detectors	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Low Temperature Physics	6. 最初と最後の頁 1143 ~ 1150
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10909-022-02795-9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計23件（うち招待講演 1件/うち国際学会 3件）

1. 発表者名 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
2. 発表標題 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
3. 学会等名 日本天文学会2021年秋季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 長沼桐葉, 吉岡佳輔, 酒井剛, 大島泰, 竹腰達哉, 丹羽佑果, 宇野慎介, 陳家偉, 井上修平
2. 発表標題 多色サブミリ波カメラ用超広帯域反射防止技術の開発
3. 学会等名 日本天文学会2021年秋季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宇野慎介, 陳家偉, 井上修平, 河野孝太郎, 大島泰, 竹腰達哉, 長沼桐葉, 丹羽佑果
2. 発表標題 多色サブミリ波カメラ用超広帯域準光学バンドパスフィルターの開発
3. 学会等名 日本天文学会2021年秋季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 竹腰達哉, 大島泰, 陳家偉, 李建鋒, 宇野慎介, 井上修平, 長沼桐葉, 丹羽佑果, 都築俊宏, 藤田和之, 香内晃, 中坪俊一, 美馬覚, 田井野徹, 川邊良平
2. 発表標題 宇宙形成史を探索する超広視野・広帯域サブミリ波カメラの開発
3. 学会等名 第27回低温科学研究所技術部技術報告会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宇野慎介, 大島泰, 竹腰達哉, 陳家偉, 井上修平, 長沼桐葉, 丹羽佑果
2. 発表標題 ミリ波サブミリ波帯広帯域平面型直交モード変換器の設計
3. 学会等名 第22回ミリ波サブミリ波受信機ワークショップ
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 長沼桐葉、吉岡佳輔、酒井剛、大島泰、竹腰達哉、陳家偉、宇野慎介、井上修平、丹羽佑果
2. 発表標題 ミリ波サブミリ波帯超広帯域反射防止多層膜の開発
3. 学会等名 第22回ミリ波サブミリ波受信機ワークショップ
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 長沼桐葉、吉岡佳輔、酒井剛、大島泰、竹腰達哉、丹羽佑果、宇野慎介、陳家偉、井上修平
2. 発表標題 多色サブミリ波カメラ用多段型多孔質膜赤外線フィルターの開発
3. 学会等名 日本天文学会2021年秋季年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Takekoshi, et al.
2. 発表標題 超広帯域サブミリ波分光計DESHIMA
3. 学会等名 Nobeyama Science Workshop 2020 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宇野慎介、竹腰達哉、陳家偉、河野孝太郎、大島泰、吉岡佳輔
2. 発表標題 サブミリ波帯多色カメラ用光学バンドパスフィルターの開発
3. 学会等名 Nobeyama Science Workshop 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 T. Naganuma, K. Yoshioka, T. Sakai, T. Oshima, T. Takekoshi, Y.Niwa, S. Uno, K. Chin, S. Inoue
2. 発表標題 Development of a stacked porous membrane IR-blocking filter for the multi-chroic mm/submm camera
3. 学会等名 FY2020 ALMA/45m/ASTE Users Meeting
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 長沼桐葉, 吉岡佳輔, 酒井剛, 大島泰, 竹腰達哉, 丹羽佑果, 宇野慎介, 陳家偉, 井上修平
2. 発表標題 多色サブミリ波カメラ用多段型多孔質膜赤外線フィルターの開発
3. 学会等名 第40回天文学に関する技術シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宇野慎介, 大島泰, 竹腰達哉, 陳家偉, 井上修平, 長沼桐葉, 丹羽佑果
2. 発表標題 平面型直交モード変換器の帯域幅を制限する高次モード発生の解析
3. 学会等名 第40回天文学に関する技術シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井上修平, 大島泰, 陳家偉, 宇野慎介, 丹羽佑果, 竹腰達哉, 長沼桐葉,
2. 発表標題 広帯域ミリ波サブミリ波検出器のための平面Magic Tの開発
3. 学会等名 第40回天文学に関する技術シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 T. Takekoshi, et al.
2. 発表標題 超広帯域サブミリ波分光計DESHIMA: 科学観測に向けた開発
3. 学会等名 第21回ミリ波サブミリ波受信機ワークショップ
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宇野慎介, 大島泰, 竹腰達哉, 陳家偉, 井上修平, 長沼桐葉, 丹羽佑果
2. 発表標題 サブミリ波帯多色カメラ用光学バンドパスフィルターの開発
3. 学会等名 第21回ミリ波サブミリ波受信機ワークショップ
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 長沼桐葉, 吉岡佳輔, 酒井剛, 大島泰, 竹腰達哉, 丹羽佑果, 宇野慎介, 陳家偉, 井上修平
2. 発表標題 多色サブミリ波カメラ用多段型多孔質膜赤外線フィルターの開発
3. 学会等名 第21回ミリ波サブミリ波受信機ワークショップ
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 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, 美馬覚, 大島泰
2. 発表標題 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
3. 学会等名 第21回ミリ波サブミリ波受信機ワークショップ
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 井上修平, 大島泰, 陳家偉, 宇野慎介, 丹羽佑果, 竹腰達哉, 長沼桐葉
2. 発表標題 広帯域ミリ波サブミリ波検出器のための平面 Magic T の開発
3. 学会等名 第21回ミリ波サブミリ波受信機ワークショップ
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 丹羽佑果, 大島泰, 陳家偉, 宇野慎介, 井上修平, 竹腰達哉, 長沼桐葉
2. 発表標題 マイクロ波用低温フレキシブルケーブルの開発
3. 学会等名 第21回ミリ波サブミリ波受信機ワークショップ
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宇野慎介, 竹腰達哉, 陳家偉, 河野孝太郎, 大島泰, 吉岡佳輔
2. 発表標題 多色連続波カメラ用FPC広帯域バンドパスフィルターの多段パターン最適化
3. 学会等名 日本天文学会2019年秋季年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kah Wuy Chin, Tai Ohshima, Satoshi Ono, Takeshi Sakai, Tatsuya Takekoshi, Satoru Mima, Ryohei Kawabe, Masato Naruse, Keisuke Yoshioka, Shinsuke Uno
2. 発表標題 Design of On-chip Broadband Band Selection Filter for Multi-chroic mm/submm Camera
3. 学会等名 30th International Symposium on Space Terahertz Technology (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Shinsuke Uno, Tatsuya Takekoshi, Kah Wuy Chin, Kotaro Kohno, Tai Oshima, Keisuke Yoshioka
2. 発表標題 Development of mm/submm Frequency Selective Filters made with FPC Fabrication Technology
3. 学会等名 30th International Symposium on Space Terahertz Technology (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tai Oshima, Keisuke Yoshioka, Tatsuya Takekoshi, Kah Wuy Chin, Shinsuke Uno, Takeshi Sakai
2. 発表標題 Development of mm/submm broadband anti-reflection coating exploiting the various expanded PTFEs measured with THz-TDS
3. 学会等名 30th International Symposium on Space Terahertz Technology (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	大島 泰 (OSHIMA Tai) (40450184)	国立天文台・先端技術センター・助教 (62616)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------