

(2019)年度国立天文台共同開発研究成果報告書

2020年 5月 29日

国立天文台長 殿

研究代表者	氏名	(ふりがな) こうの こうたろう 河野 孝太郎
	所属・職	東京大学大学院理学系研究科・教授
研究課題名	フレキシブル基板技術を用いたサブミリ波光学フィルターの開発	
研究実績	<p>我々は、ダストに隠された真の星形成活動史を明らかにするために、ミリ波サブミリ波多色連続波カメラの開発を行っている。本研究では、多色連続波カメラ実現のキーとなる極低温の光学コンポーネントである、観測帯域を制限するバンドパスフィルターの開発を行うものである。具体的には、商用のフレキシブルプリント(FPC)基板技術を用いて、安価かつ短期間で、透過特性をカスタム可能なサブミリ波光学フィルターの設計開発手法を確立することを目的としている。</p> <p>本研究では、まず、これまでに調査を行ってきたFPC基板製造プロセスの製造誤差によるフィルターの周波数特性への影響を考慮した設計と製作を行った(国際研究会で発表)。次に、このフィルターを適切な間隔で積層して干渉させることで急峻なカットオフ特性と広い帯域を併せ持つバンドパスフィルターとして仕上げるための最適化に取り組んだ。しかし、従来の電磁界シミュレータ単体では広いパラメータスペースの探索することは計算コスト的に非現実的であったため、積層フィルターを各フィルター層と間の伝送線路とに分解して等価回路として置き換えられることに着目し、電磁界シミュレータと回路シミュレータを組み合わせた計算コストの低い手法を開発した(日本天文学会で報告)。この手法を用いて最適化を行うことで、実用型の広帯域バンドパスフィルターを製作し(図1)、専用に製作したアルミの治具とスペーサーでフィルターをインバンドの波長に比べて十分に高い精度でアライメントをしながら積層した。これによって急峻なカットオフと広帯域(別紙図2)を両立するバンドパスフィルターを実現できることを実証することができた(Applied Optics誌に掲載)。なお、フィルターの透過特性の測定精度が、使用したTHz-TDS装置内の水蒸気量のゆらぎによって制限されていたため、装置内の乾燥フィルターの強化、測定容器の密閉などを行うことで、透過率の精度を1%程度に向上させることに貢献することができた。</p> <p>さらに、本バンドパスフィルターは極低温(250mK)で用いるため、低温への冷却サイクルによる特性変化がないことを実証する必要がある。そこで、FPCフィルターを液体窒素に浸漬した後に再度光学評価を行い、急峻な冷却サイクル前後でもFPCフィルターの透過特性に変化の無いことが確認できた。次に、極低温での評価用に冷却用デューブに高周波配線の導入を行って低温での評価系を構築した。また、冷却に時間のかかる低温での評価を効率化するために極低温部のフィルターを交換するためのモーターの動作試験を行った。これらの成果は、Applied Optics誌に出版することができた。今後、引き続き極低温での光学評価などを進めていく予定である。</p>	
研究の活用	<p>本研究でその有効性が実証された「FPC製造技術を活用した光学フィルターの開発法」は、ミリ波サブミリ波連続波カメラの広帯域化にとって、広い応用範囲を有している。本研究では、広帯域かつ急峻なカットオフを実現することに主眼を置いているため、高周波側の高調波が残っている状態であるが、同様にFPCフィルターで高調波をカットするローパスフィルターを実現できることも確認している。今後は、これらを組み合わせることで、ミリ波サブミリ波望遠鏡の搭載品として使用することが可能なフィルターを実現していく。</p> <p>さらに、今回開発した積層フィルターの最適化手法についても、バンドパスフィルターのみでなく極低温冷却用の赤外線遮断フィルターなどに応用していくことが可能である。</p>	

図1 製作した実用型のFPCフィルター(単層)

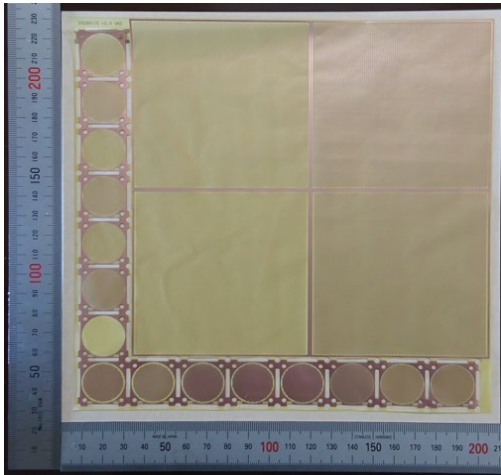
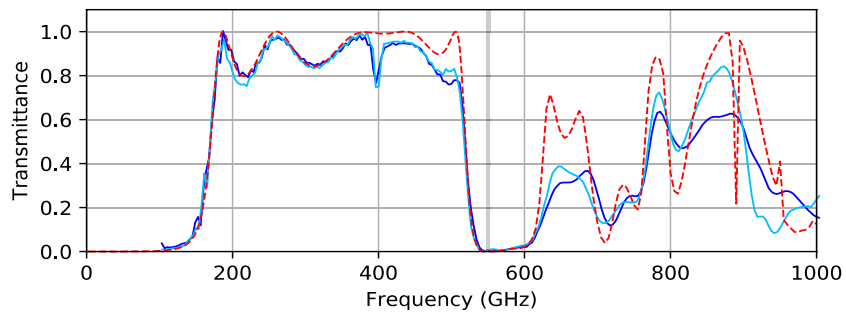


図2 3層積層FPCバンドパスフィルターの透過特性



国立天文台共同開発研究 報告書(別紙)

氏名 河野孝太郎	所属 東京大学天文学教育研究センター	標題名 フレキシブル基板技術を用いたサブミリ波光学フィルターの開発	ID 1901-0102
-------------	-----------------------	--------------------------------------	-----------------

回答日: 2020年 5月 29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
	Shinsuke Uno, Tatsuya Takekoshi, Tai Oshima, Keisuke Yoshioka, Kah Wuy Chin, and Kotaro Kohno	2020	Demonstration of wideband metal mesh filters for submillimeter astrophysics using flexible printed circuits	Applied Optics	59	4143-4150	10.1364/AO.389605	/	
								/	

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入不要)	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
	Shinsuke Uno, Tatsuya Takekoshi, Kah Wuy Chin, Kotaro Kohno, Tai Oshima, Keisuke Yoshioka	2019	Development of mm/submm Frequency Selective Filters made with FPC Fabrication Technology	30th International Symposium on Space Terahertz Technology	Gothernburg, Sweden Apr 15-17, 2019		/	
	宇野慎介, 竹腰達哉, 陳家偉, 河野孝太郎, 大島泰, 吉岡佳輔	2019	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	日本天文学会2019年秋季年会	熊本, Sep 13, 2019		/	

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。