

論文審査の結果の要旨

氏名 神蔵 護

ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array) は、日本・北米・欧州およびチリ共和国の国際協力のもと、チリの標高 5000 m のアタカマ砂漠に建設が進められている 80 台の高精度アンテナで構成される電波干渉計である。ミリ波からサブミリ波に存在する大気の窓を 10 の周波数帯にわけて受信し、直交する二偏波を同時受信し、天文学を一新する成果が期待されている。日本が供給する装置の一つに、Band 8 (385–500 GHz、波長 0.7 mm 帯) 用受信機がある。この受信器に課された要求性能は極めて高く、しかも要求性能を満たし信頼性の十分高い受信器 80 台を製作せねばならない。

本論文では、当該受信器の心臓部である導波管型偏波分離器 (OMT) とサイドバンド分離 (2SB) SIS ミクサの開発について、高い要求性能を満たし、かつそれと同等に重要な、量産において確実に要求性能を満たすための開発研究が展開されている。第 1 章の導入部に続いて、第 2 章では OMT について、第 3 章では 2SB SIS ミクサについて、第 4 章では低損失化のための一体型 OMT/2SB の導波管回路について設計および評価結果が詳述され、第 5 章では、まとめが述べられている。

OMT は、直交二偏波を分離する導波管回路である。従来の準光学型のワイヤーグリッドに比べて、二つの偏波からのビームパターンが一致し、受信機光学系を小型化できるというメリットを持つが、これまで周波数の低い 211–320 GHz 帯のみで実用化されていた。第 2 章には、OMT として、片偏波に対して導波管中央に隆起を設けたダブルリッジタイプを採用した理由、量産上きわめて重要な加工誤差を考慮した詳細設計、常温および 4 K 冷却時における性能測定の結果が述べられている。より波長の長いミリ波帯の OMT に比べ、(1) 導波管による伝送損失を最低限におさえるために、水平偏波の導波管長さを最小限にした点、(2) ダブルリッジ導波管やインピーダンス変換器などの導波管ステップの数を、加工誤差に対するロバストさを考慮して最適化した点にきめ細かい工夫が見られる。最終設計は、現実的に予想される機械加工に 10 μm の寸法誤差があっても、性能が変化しないロバストなものであることが実証されている。さらに、4 K における透過損失や二偏波・出力ポート間分離度といった OMT の性能評価を、量産向けに迅速に行うための測

定システムの改良整備が念入りに行なわれた。その結果、4 K における透過損失は 0.4–0.5 dB /25 mm、二偏波・出力ポート間分離度は、比帯域 26 % の広帯域にわたって 25–30 dB 程度と非常に良好な結果が得られている。これらの計測のため、サブミリ波の振幅と位相を同時に測定できるシステムの開発も並行して行われた。

2SB ミクサは、ヘテロダイン受信機において中間周波数を、Upper sideband と Lower sideband を分離したのちに同時に出力するものである。両サイドバンドの分離は、大気からの雑音を減らし、強度校正の精度を高め、サブミリ波帯でのラインサーベイを可能にするなどの、極めて重要な開発要素である。第 3 章では、サイドバンド分離のための 2SB 導波管回路の詳細設計と性能評価が述べられている。2SB 導波管回路の構成部品である 90 度位相遅延・分配器および結合器には、ブランチライン型結合器を採用し、詳細設計が行われた。典型的な放電加工の加工誤差である 5 μm の誤差があっても性能が変化しないことが確認されている。実測した加工誤差を考慮したシミュレーションと、透過損失・位相遅延の実測値が測定誤差の範囲内で一致する結果が得られている。

第 4 章では、導波管の経路長を短縮し透過損失を少なくするため、OMT と 2SB を一体化するための設計と評価結果が述べられている。観測の大きな妨げとなる電磁ホーン副鏡間や導波管回路内の定在波を減らすために独創的な工夫がこらされ、一体型にすることで損失の減少が確認されている。

これらの開発研究の結果、受信機の SSB 雑音温度は、比帯域 26 % のほぼ全域にわたって両偏波ともに量子雑音限界の 4–8 倍と同波長帯で世界最高の低雑音の性能を達成するなど、ALMA プロジェクトによる厳しい性能設定をすべて満足することができた。本研究により、量産可能な形で、サブミリ波帯で世界初の導波管型偏波分離器 (OMT) および世界最高性能のサイドバンド分離 SIS (2SB) ミクサの開発に成功したことは、ALMA プロジェクトへの貢献も計り知れず、審査員一同、本研究をきわめて高く評価するものである。

なお、本論文は、関本裕太郎、浅山信一郎、野口卓、Wenlei Shan、伊藤哲也、佐藤直久、飯塚吉三、芹沢靖隆、成瀬雅人との共同研究であるが、論文提出者が主体となって開発研究を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。従って、博士 (理学) の学位を授与できると認める。