

茨城局 32m 電波望遠鏡搭載 22GHz 冷却受信機用セプタム型ポーライザーの開発

Soon KangLou, 森智彦, 百瀬宗武, 米倉覚則 (茨城大学)

小川英夫, 木村公洋, 長谷川豊 (大阪府立大学), 木村篤志 (山口大学)

● 概要

国立天文台茨城局 (高萩局・日立局) 32m 電波望遠鏡 2 台に 6-9GHz 帯の冷却受信機が搭載されており、大質量星形成領域起源のメタノールメーザーや連続波の観測を行っている。茨城局は 22GHz 水メーザーと 23-25GHz アンモニア輝線の観測環境はなかったが、2011 年夏から 22GHz 帯冷却受信機の開発が始まり、それと同時に 22GHz 帯セプタム型ポーライザー (円偏波分離器) の設計と製作が始まった。受信機とポーライザーは 2012 年の秋に実験室で性能評価を行った。本文は 22GHz 帯セプタム型ポーライザーの設計及び測定結果について報告する。

● ポーライザー設計および製作

ポーライザーは大阪府立大学の尾上氏が設計した。Ansys 社 3 次元電磁界解析ソフト HFSS を用いてポーライザーをモデリングし、各部分を最適化した。

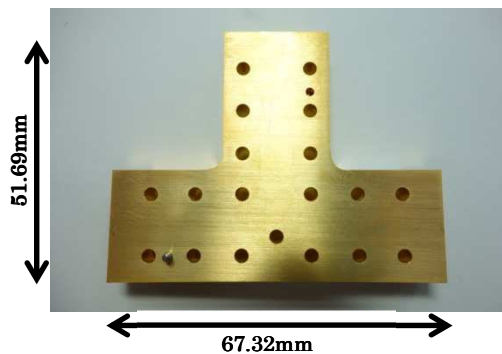


Figure 1

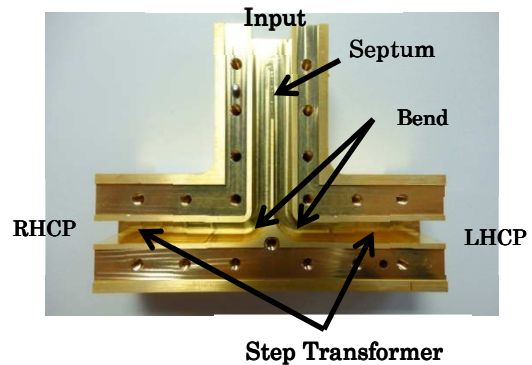


Figure 2

ポーライザーは、Figure 1 の上蓋と Figure 2 の本体の 2 体構造になっている。本体には導波管を設けており、セプタム部、バンド部とステップ変換機で構成されている。

- セプタム：インピーダンス変換機であり、入力された円偏波を直線偏波に変化する働きを果たす。
- バンド部：カーブ状の E 面導波管であり、セプタム部と直交するように繋ぐことによって、導波管の向きを 90° に変えることができ、後段のコンポーネントとの接続はしやすくなる。
- ステップ変換機：バンドの導波管サイズを標準導波管サイズ (WR-42) に合わせるために段階的に整合を取り、信号をアンプの方へと伝搬する。

上蓋と本体とは、力を均等にかつしっかりと蓋をするため、ネジ 16 本で締めている。ポーライザーはテルル銅の金メッキでできている。製作はフライス加工、精度は $\pm 10\mu\text{m}$ 以内である。

● VNA を用いたポーライザーの実測結果と、シミュレーションとの比較

Performance	Goal	Simulation	Measured
Insertion Loss	$> -0.20\text{dB}$	$> -0.25\text{dB}$	$> -0.30\text{dB}$
Phase Difference	$90^\circ \pm 5^\circ$	$90^\circ \pm 5^\circ$	$90^\circ \pm 5^\circ$
Input Return Loss	$< -20\text{dB}$	$< -20\text{dB}$	$< -15\text{dB}$
Output Return Loss	$< -20\text{dB}$	$< -25\text{dB}$	$< -20\text{dB}$
Isolation	$< -20\text{dB}$	$< -20\text{dB}$	$< -25\text{dB}$
Cross Polarization	$< -20\text{dB}$	$< -25\text{dB}$	$< -20\text{dB}$

Table 1

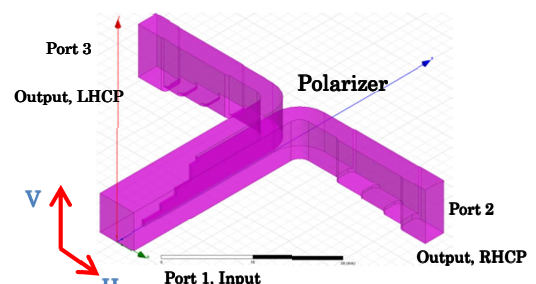


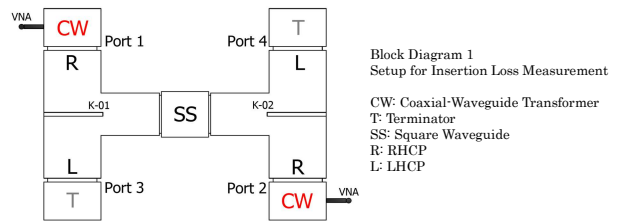
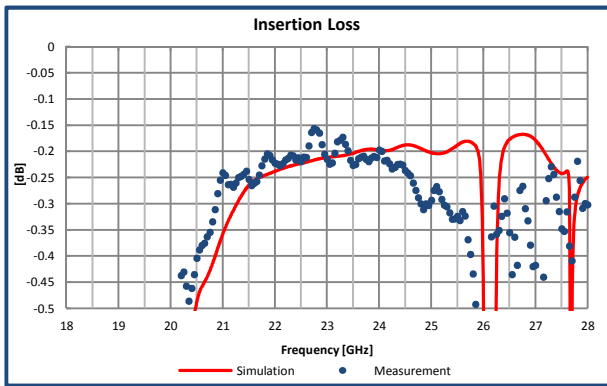
Figure 3 HFSS 上の解析モデル

V : 垂直偏波 H : 水平偏波

中心周波数 23.5GHz で、帯域幅 21-26GHz において、目標値、シミュレーション結果と測定値は Table 1 にまとめる。厳密に、インサクションロスとインプットリターンロス以外すべて目標値に達成している。

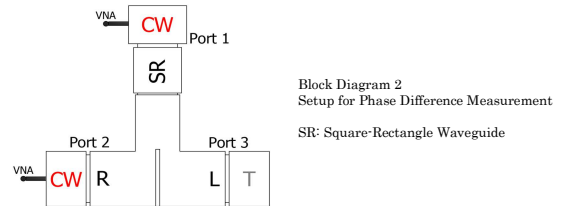
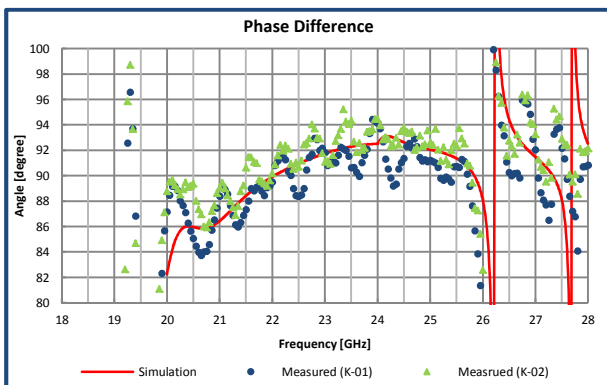
ポーラライザーの周波数特性を調べるため、Agilent Technologies 社製ベクトルネットワークアナライザー (Vector Network Analyzer; VNA) E8361A を用いて S-パラメータを測定した。ポーラライザーは 2 台あり、グラフではそれぞれの測定結果を K-01、K-02 と名付ける。理想解析モデルのシミュレーションを「Simulation」、実測結果を「Measured」と記す。

Insertion Loss



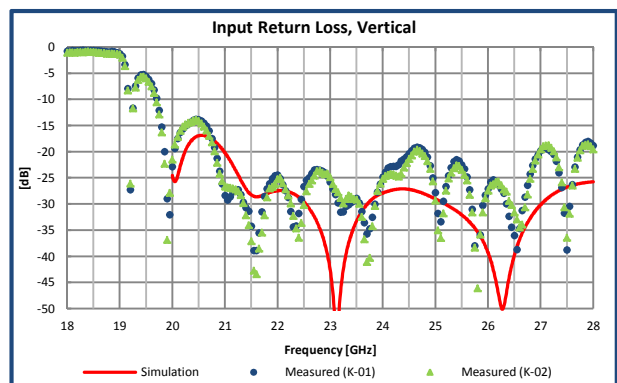
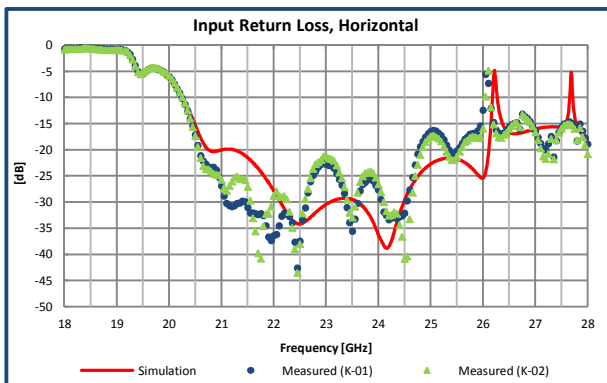
インサクションロスは、ブロックダイアグラムでのポート 1 とポート 2 の入出力比を表している。帯域幅内では結果は良好だがシミュレーションと違い 24GHz から落ち始めている。ここでポーラライザー同士を直列に接続する方形直線導波管 (SS) はアルミでできており、ロスの測定に影響すると思われる。

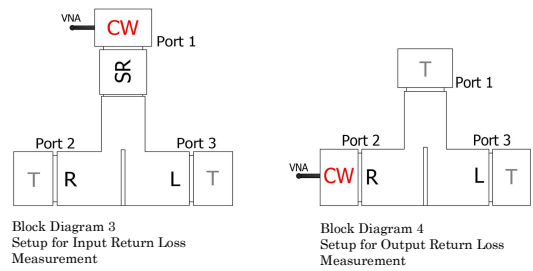
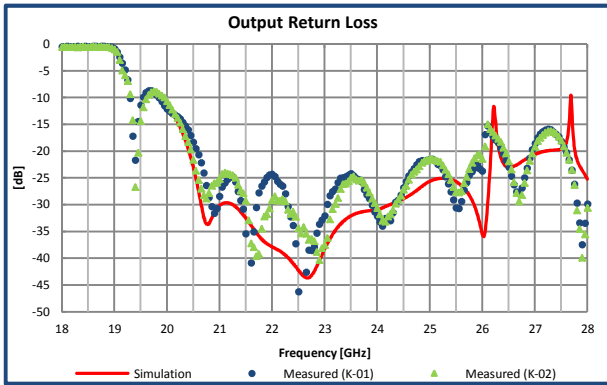
Phase Difference



入力された H 成分と V 成分の偏波が、出力ポートである RHCP もしくは LHCP の位相差を調べることで、ポーラライザーのセプタム部はどれぐらいの精度で円偏波を直線偏波に変換するかがわかる。測定では定在波は生じているが、シミュレーションの形とよく一致している。

Return Loss

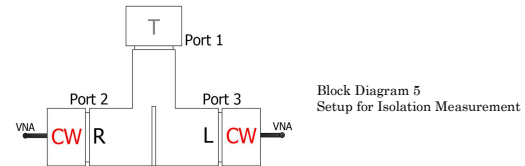
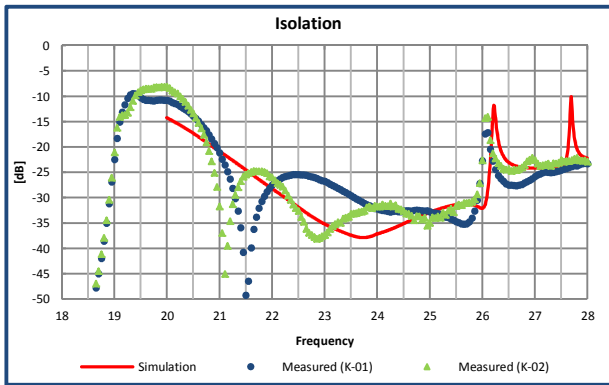




微弱な電波を受信する受動素子として、ポーラライザーには少なくとも 20dB 以上のリターンロスが要求される。セプタムはインピーダンス変換機であるので、入力リターンロスはセプタムの性能を表す重要なパラメータでもある。

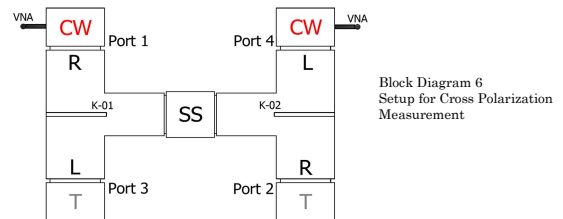
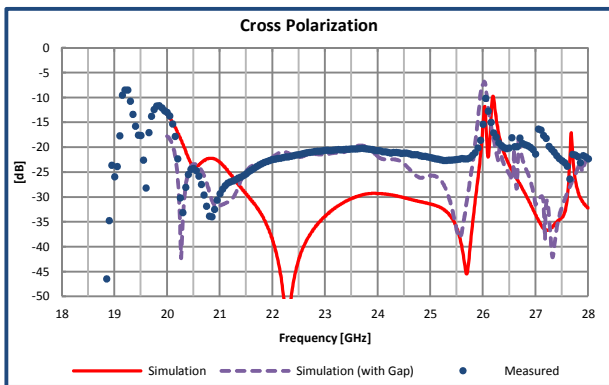
ポーラライザーの後段に接続するアンプなどに反射を少なくして効率的に信号を伝搬するため、出力リターンロスも 20dB 以上あってほしい。このポーラライザーは主に水メーザーとアンモニア輝線を観測することが目的としており、それらの輝線の周波数についてはリターンロスが良い。しかし H 成分の入ットリターンロスに関して、25GHz あたり -20dB を下回っていないので、今後さらに改良を目指す。

Isolation



ポート 2 とポート 3 の干渉具合を示している。結果はシミュレーションと良く似ているが、測定に用いられる方形終端は自作のものであり、結果は安定性を欠けていることがわかった。

Cross Polarization



測定結果とシミュレーションの結果がかなり違う。ポーラライザーは 2 体構造でできているため、Figure 4 のようにセプタムと上蓋との間に隙間が生じる可能性がある。シミュレーションで隙間の影響を検証し、実測結果と比較したところ、隙間はわずかながら 10 μ m 程度はあったと推測される。隙間ができてしまうと、交差偏波に一番影響しているが、ポーラライザーの他の性能ではこの影響はあまり見られない。

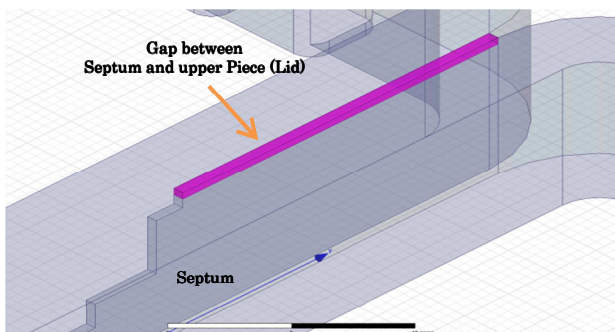


Figure 4