

24 GHz 帯マイクロ波照射構造における傾斜した流路の影響

Effect of Inclined Micro Channel in 24 GHz Microwave Irradiation Structure

磯部 美帆[†] 岸原 充佳[†] 大久保 賢祐[†] 山口 明啓^{††} 内海 裕一^{††}

Miho Isobe[†] Mitsuyoshi Kishihara[†] Kensuke Okubo[†] Akinobu Yamaguchi^{††} Yuichi Utsumi^{††}

[†]岡山県立大学 情報工学部 ^{††}兵庫県立大学

1 概要

近年、マイクロ波がクリーンで高効率なエネルギー源として注目され、材料合成や化学反応などへ応用する研究が進められている[1][2]. ところで、密に並べた金属ポスト列で壁面を形成したポスト壁導波路[3]を用いた 24 GHz 帯マイクロ波アプリケーションが提案されている[4]. ポスト壁導波路内の流路が長くなるにつれて、温度分布に偏りが生じる. 本研究では、マイクロ波による昇温を均等に目的で流路に傾斜を与えてシミュレーションを行い、傾斜が昇温特性に与える影響を明らかにしている.

2 ポスト壁導波路の照射構造

図 1 にポスト壁導波路を用いたマイクロ波照射構造を示す. 上下の平行平板導体間には比誘電率 ϵ_r の誘電体材料が満たされ、半径 r の金属柱が幅 a_f 、間隔 s で配置され、ポスト壁導波路が構成されている. 図 1 にある通り、ポスト壁導波路の柱の隙間を利用して外部から導波路内部へ流路が設けられている. 流路は誘電体を削って作られる溝

である. 流路に水や溶媒を流し込み、ポスト壁導波路内でマイクロ波を照射し、被可燃物を連続的に取り出すことができる構造となっている.

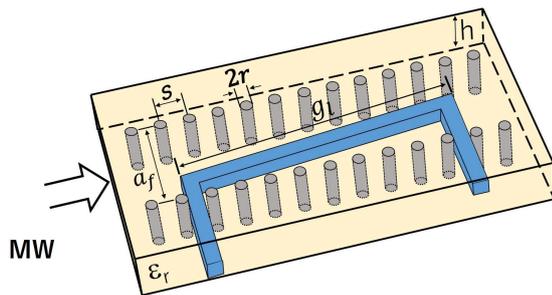
これにより、以下の機能を連続的に実現することができる. 1)溶媒など液体を流路に注入する. 2)ポスト壁導波路内でのマイクロ波照射. 3)照射後の液体をポスト壁導波路から取り出す. ポスト壁導波路は、金属柱を並べるだけで容易に製作することができるため、直線以外の絞り窓や共振器構造などといった電磁界を集中させることのできる構造も容易に用いることができる. 同様に流路自体も、誘電体材料に溝を掘ることで曲がりのある流路や液溜めなどのさまざまな構造を実現することができる.

3 昇温シミュレーション

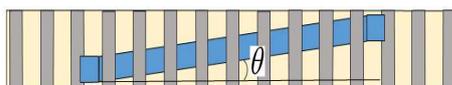
シミュレータ COMSOL Multiphysics を用いて水の昇温シミュレーションを行い、傾斜を付けた温度分布を計算するが、まず、水のマイクロ波エネルギー吸収効率が高くなる 24 GHz を動作帯域として、ベースとなるポスト壁導波路によるマイクロ波照射構造の流路設計を行った. 誘電体材料として、テフロン (比誘電率 $\epsilon_r = 2.04$) を想定し、文献[4]に倣って金属柱の径 $2r = 0.73$ mm, 金属柱の配置間隔 $s = 1.8$ mm, 導波路幅 $a_f = 6.8$ mm, 厚さ $h = 3$ mm を決定した. 流路として、一辺 1 mm, 直線部分の流路の長さ $g_l = 13.6$ mm の溝に図 1(b)のように角度 θ をもたせている. 誘電体材料であるテフロンはポスト壁導波路と流路を構成するものであり、ポスト壁導波路内は誘電体で満たされている. 本論文において流路内の水は静止した状態でシミュレーションしている.

そして 24 GHz のマイクロ波 1 W を 30 秒間入力した場合の水の昇温シミュレーションを行った. マイクロ波は図 1 の左側より入力した. シミュレーションでは、水の複素誘電率 $32.5-j34.98$, 熱伝導率 0.615 W/(mK), 比熱容量 4.2 kJ/(kgK), 周囲環境 20°C を仮定した.

傾斜角度 θ を 4° , 6° , 6.5° , 8° として昇温シミュレーションを行った. その結果を図 2 に示している. 図 2(a)は電界の分布(傾斜 6°)を表している. 図 2(b)は流路の左端を 0 として基準にとり、

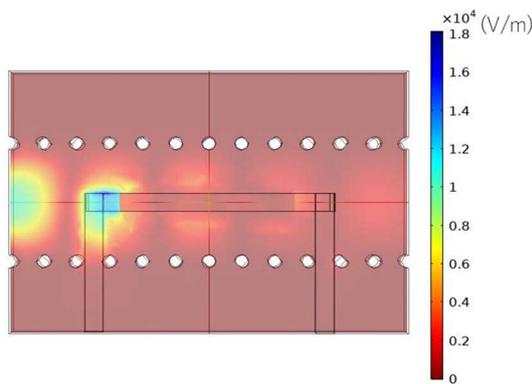


(a)全体図

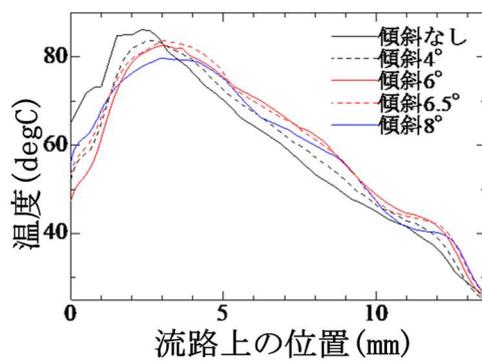


(b)流路出入り口から見た図

図 1 直線流路に傾斜を持つ連続マイクロ波照射構造



(a)電界分布

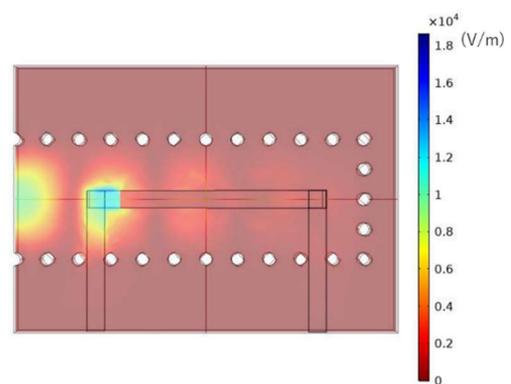


(b)流路上の温度

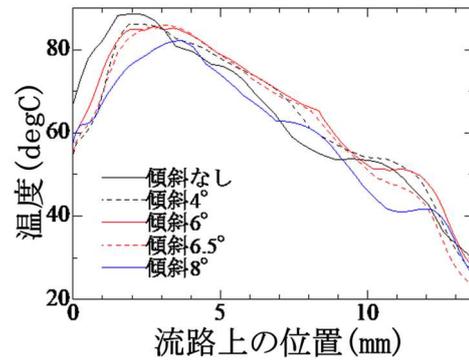
図2 電界の分布と温度上昇のグラフ

流路の長さや温度の関係を表したグラフである。傾斜なしの場合(黒の実線)は、マイクロ波のあたる流路左端が 85 °C程度まで上がって高温になるが、5 mm 以降では急に低くなる。傾斜を付けていくと、図中の赤の実線(6°)の場合が 6 mm ~ 13 mm で温度が高くなっていることがわかる。これより 6° の傾斜をつけた場合、均等昇温が期待できることがわかった。

また、入力したマイクロ波が反射するようにポスト壁導波路の右端をポスト壁で短絡するモデルを設計し、定在波を利用する構造で昇温シミュレーションを試みた。その結果を図3に示している。図3(a)は電界の分布(傾斜 6°)を表している。図3(b)は流路の端を0として基準にとり、長さや温度の関係を表したグラフである。図2(a)ではマイクロ波は左端から右端へ通り抜けているが、図3(a)では右端のポスト壁にマイクロ波が反射し、入射波と重なっている。図3(b)より、定在波を利用することで入力ポートから離れた部分でもかなり昇温していることがわかる。図2(b)と比較すると図2(b)では、傾斜 6° 長さ 12 mm の位置で 40 °Cであるのに対して、図3(b)の傾斜 6° 長さ



(a)電界分布



(b)流路上の温度

図3 右端を短絡した場合の電界の分布と温度上昇のグラフ

12 mm の位置で 50 °C程度と高くなっていることが確認できる。傾斜 8° の場合、逆に温度変動が激しくなってしまうことも分かる。

4 結論

本研究では 24 GHz 帯ポスト壁導波路型連続マイクロ波照射構造の流路に傾斜を付けた状態で、マイクロ波照射シミュレーションを行った。その結果、流路の直線部分の長さ $g_l = 13.6$ mm に 6° の傾斜をつけ、一方のポートを短絡し定在波を利用する構造が最も均等昇温が期待できることが分かった。

参考文献

- [1] 和田雄二, 竹内和彦, マイクロ波の科学プロセス技術, シーエムシー出版, 2006.
- [2] Japan Society of Electromagnetic Wave Energy Applications, Proceedings of Global Congress on Microwave Energy Applications, Aug. 2008.
- [3] J.Hirokawa and M.Ando, "Single-layer feed waveguide consisting of posts for plane TEMwaves excitation in parallel plates," IEEE Trans, Antennas Propagate., vol.46,

no.5, pp.625-630, May 1998.

- [4] 岸原充佳, 山島芸, 内海裕一, “ポスト壁導波路を用いたチップサイズ連続マイクロ波照射構造,” 電気学会論文誌 E, vol.133, pp.365-371, Dec. 2013.