29p-D1-5

金属Ｖ溝構造におけるテラヘルツ波の超集束：近似解析解

Superfocusing of Terahertz Waves in the Metallic V-Groove Structures: Approximate analytical solutions

福井大教育 [1]，福井大遠赤セ [2], 福井工大 [3]　○栗原 一嘉 [1], 山本 晃司 [2]，桑島 史欣 [3]，谷 正彦 [2]

Univ. Fukui[1], FIR FU[2], FUT[3]　°Kazuyoshi Kurihara[1], Kohji Yamamoto[2], Fumiyoshi Kuwashima[3], Masahiko Tani[2]

E-mail: kuri@u-fukui.ac.jp

テラヘルツ(THz)波を広く産業的に利用するためには、マイクロ・ナノ寸法の微細加工技術に基づいた THz 波回路を実現することが不可欠である。波長がサブミリ寸法のテラヘルツ(THz)波をマイクロ・ナノ寸法へ集束する素子を実現するために、これまで我々は、金属 V 溝構造での超集束を理論[1]と実験[2]の両面から調べてきた。特に、理論面では、金属を完全導体として扱わずに、THz 帯での金属誘電率を直接考慮した表面プラズモンを扱うことにより、THz 波帯での超集束を調べてきた。ここでの理論的手法は、準変数分離による解析的アプローチで、金属 V 溝のテーパー角が大きい場合にも適用できる非断熱近似である。もともと、光領域の超集束を扱うために開発された解析手法[3]である。前回までに、THz 波領域の表面プラズモンの波数が V 溝先端に近づくにつれて増大すること、THz 波領域における金属 V 溝構造の電気力線表示を示した。また、完全導体近似に基づいた扇形ホーンアンテナの理論[4]との類似点と相違点を定性的に議論した。今回は、ホーンアンテナの文脈で定量的に THz 帯での超集束を議論するために必要となる近似解析解を金属 V 溝で求めたので報告する。

THz 帯での超集束を解析的に議論する難しさの１つは、絶対値が大きい複素数の金属誘電率で境界条件を解くことにある。例えば、アルミニウムの誘電率は、1THz で、$-3.2\times10^4+\mathrm{i}6.7\times10^5$ となる。しかし、絶対値が大きい複素数の金属誘電率 ε_2 では、金属 V 溝構造での境界条件は、むしろ簡単に解け、近似解析解を持つ（表１）。０次分離不変量 $\zeta_u^{(0)}(\rho)$ が解析解として与えられると、０次の動径方程式と角度方程式も容易に解析的に解け、結局、THz 帯での超集束の近似解析解が得られる。この解析解は、金属誘電率が完全導体となる極限($\varepsilon_2\to\mathrm{i}\infty$)で、Barrow らの理論[4]と一致する。この近似解析解を使えば、ホーンアンテナの文脈で THz 帯での超集束を議論できる。

金属 V 溝構造での境界条件[3]：

$$\frac{\tanh\{\alpha\eta_1(\rho)\}}{\tanh\{(\pi-\alpha)\eta_2(\rho)\}}+\frac{\varepsilon_1\eta_2(\rho)}{\varepsilon_2\eta_1(\rho)}=0$$

近似解析解：

$$\frac{\zeta_u^{(0)}(\rho)}{\rho}\sim\frac{k}{\alpha\sqrt{|\varepsilon_2|}}\exp\left\{i\left(\frac{\pi}{2}-\frac{1}{2}\arg\varepsilon_2\right)\right\}$$

for $\dfrac{1}{2\pi\alpha\sqrt{|\varepsilon_2|}}\ll\dfrac{\rho}{\lambda_0}\ll\dfrac{\sqrt{|\varepsilon_2|}}{2\pi\alpha}$

だだし、$\eta_j(\rho)=\sqrt{\beta_j^2\rho^2+\zeta_u^{(0)}(\rho)}$，$\beta_j=\sqrt{k_p^2-\varepsilon_j k_0^2}$

表１　金属 V 溝構造での境界条件と近似解析解

[1] 栗原一嘉他，2011 年秋応用物理学会，31p-F-6; 栗原一嘉他，2012 年春応用物理学会，17p-E8-2; 栗原一嘉他，2012 年秋応用物理学会, 11 p-B1-3. [2] 都築聡他，2011 年秋応用物理学会，27p-BX-5; 山本晃司他，2012 年春応用物理学会，17p-E8-3. [3] K. Kurihara *et al.*, *J. Phys. A: Math. Theor.* **41** (2008) 295401. [4] W.L.Barrow et al., Proc.I.R.E. **27** (1939) 51.

© 2013 年　応用物理学会