

金属V溝構造におけるテラヘルツ波の超集束：境界条件の近似解析解

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

An Approximate Analytical Solution of Boundary Conditions

福井大教育地域¹, 福井大遠赤セ², 福井工大³, 海保大⁴ ○栗原 一嘉¹, 山本 晃司², 栗島 史欣³,

森川 治⁴, 谷 正彦²

Univ. Fukui¹, FIR UF², FUT³, JCGA⁴ ○Kazuyoshi Kurihara¹, Kohji Yamamoto²,

Fumiyoshi Kuwashima³, Osamu Morikawa⁴, Masahiko Tani²

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

金属V溝構造は、直線偏光のテラヘルツ波を超集束させる導波路として機能することが実験的に示されている[1]。テラヘルツ波が超集束する定性的な説明は、光領域において金属V溝構造(図1)がプラズモン超集束を示す理論[2]に基づいている。この理論[2]では、TMモードに対する波動方程式を解く時、不完全に変数分離した解を仮定する。金属V溝構造の特性を評価するためには、超集束を定量的に扱う必要があり、超集束モードを解析的に記述することが望まれる。この際、大きな障害となっているのは、次式の境界条件に対し、解 $\zeta_u^{(0)}(\rho)$ を解析的に記述することである。

$$(1) \quad \frac{\tanh\left\{\alpha\sqrt{(\beta_1\rho)^2 + \zeta_u^{(0)}(\rho)}\right\}}{\tanh\left\{(\pi-\alpha)\sqrt{(\beta_2\rho)^2 + \zeta_u^{(0)}(\rho)}\right\}} + \frac{\varepsilon_1\sqrt{(\beta_2\rho)^2 + \zeta_u^{(0)}(\rho)}}{\varepsilon_2\sqrt{(\beta_1\rho)^2 + \zeta_u^{(0)}(\rho)}} = 0$$

ここで、 $\beta_j = \sqrt{k_p^2 - \varepsilon_j k_0^2}$ 、 $j=1,2$ である。 ε_1 と ε_2 は、それぞれ、誘電体と金属の誘電率であり、 k_p は平面構造での表面プラズモンの波数 $k_p = k_0\sqrt{\varepsilon_1\varepsilon_2/(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)}$ 、 k_0 は電磁波の自由空間での波数である。

誘電率の典型的な値として、1 THzでのアルミニウムを想定し、 $\varepsilon_1 = 1$ 、 $\varepsilon_2 = -3.2 \times 10^4 + i6.7 \times 10^5$ を用いる。この典型的な誘電率に対して、条件 $|(\beta_1\rho)^2| \ll |\zeta_u^{(0)}(\rho)| \ll |(\beta_2\rho)^2|$ を仮定して、式(1)を近似的に解くと、

$$(2) \quad \zeta_u^{(0)}(\rho) = -\frac{\varepsilon_1\beta_2\rho}{\alpha\varepsilon_2} \tanh\left\{(\pi-\alpha)\beta_2\rho\right\}$$

を得る。図2に、上記の典型的な誘電率を用いて、境界条件の式(1)を数値的に解いた結果と式(2)のグラフを示した。式(2)の近似

解析解は、式(1)の数値解を大変良く再現していることが分かる。これより、 $\zeta_u^{(0)}(\rho)$ の近似解析解として式(2)を用いて、金属V溝構造におけるテラヘルツ波の超集束モードを解析的に記述できる。

[1] S. Tsuzuki *et al.*, *Appl. Phys. Express (APEX)*, vol. 7, 112401, 2014.

[2] K. Kurihara *et al.*, *J. Phys. A*, vol. 41, 295401, 2008.

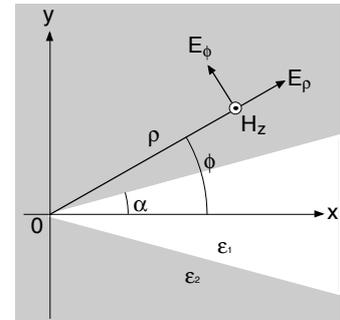


図1 金属V溝構造の座標系。

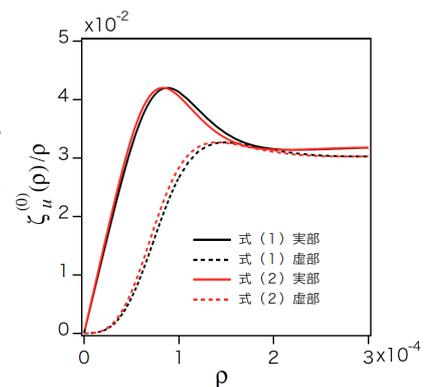


図2 式(1)と式(2)による $\zeta_u^{(0)}(\rho)/\rho$ の数値計算。 $2\alpha = 20^\circ$ とし、 ρ は波長で規格化している。