# 文 十字型共振器を用いた 28GHz 帯偏波共用 反射型メタサーフェスの開発

ホンナ	·ラ タナン*	佐々木	₹隆吉*	佐々オ	、克守*
佐藤	啓介**	大島	一郎**	道下	尚文***
中林	寛暁 <sup>* * * *</sup>	長	敬三****		

## 28 GHz Band Dual-Polarized Reflective Metasurface with Cross-Shaped Resonator

Tanan Hongnara, Takayoshi Sasaki, Katsumori Sasaki, Keisuke Sato, Ichiro Oshima, Naobumi Michishita, Hiroaki Nakabayashi and Keizo Cho

本稿では、28GHz 帯偏波共用反射型メタサーフェスの設計について述べる。メタ サーフェスは反射位相を制御するため、異なる大きさの十字型共振器を周期的に配列 し構成される。今回、入射角  $\theta_i=0^\circ$ の垂直偏波および水平偏波を反射角  $\theta_r=70^\circ$ へ反射 させるメタサーフェスを開発した。 $\theta_r=70^\circ$ の大きな反射角を実現しつつ、サイドロー ブレベルは 10dB 以下を達成している。

In this paper, the design of 28 GHz band dual-polarized reflective metasurface is presented. The metasurface is composed by different size of arrays of cross-shaped resonators to control the reflection phase based on energy surface channeling technique. By properly designing the metasurface, it can anomalously reflect both vertical and horizontal polarized incident plane waves from  $\theta_i = 0^\circ$  to  $\theta_r = 70^\circ$ , while achieving a radiation power ratio of the main reflected beam to its sidelobe of over 10 dB.

#### 1. はじめに

論

第5世代移動通信システム(5G)の導入が世界的に 始まり,無線データレートの大幅な向上を目的とし て,28GHz帯が割り当てられ利用されている<sup>(1)</sup>。し かしながら,28GHz帯では電波の直進性が高く,障 害物を容易に通過しないことから,カバーエリアが 狭くなるという課題がある<sup>(2)</sup>。この課題を克服する ために,入射角( $\theta_i$ )からの電波を所望の角度( $\theta_r$ )に 反射することができるメタサーフェス(MTS)が提 案されている<sup>(3)</sup>。多くは,位相勾配型 MTSの検討が 行われているが,所望の反射角度( $\theta_r$ )の増加に伴い, 高いサイドローブが発生してしまう<sup>(4)</sup>。近年では,サ イドローブの低い反射性能を得るための設計方法が 提案されている<sup>(5)</sup>。異なる長さの金属ストリップを 用いて反射位相が不均一の位相勾配となるよう設計 することで,大きな反射角と低サイドローブ特性を 両立している。

本論文では、(5) で提案された技術を適用し、 28GHz における偏波共用反射型 MTS を設計した。 0°の入射角 ( $\theta_i$ ) から 70°の反射角 ( $\theta_r$ ) への反射を実 現している。

#### 2. メタサーフェスの構成

図1(a)に提案したMTSのユニットセル構成を示 す。セラミックとPTFEの複合基板上に設計されて おり、セル面積は2.85×2.85mm<sup>2</sup>となる。表面には 幅wの十字型共振器が印刷されている。垂直偏波と 水平偏波との間の反射位相応答を独立に制御できる ように長さ*l<sub>v</sub>*, *l<sub>H</sub>をパラメータと*する。

次に,所望の反射を生じさせるために,図1(b)に 示すように,寸法の異なる4つの十字型共振器(*U*<sub>1</sub>, *U*<sub>2</sub>, *U*<sub>3</sub>, *U*<sub>4</sub>)を配置して,一定の周期をもつスーパー

<sup>\*</sup> 機器統括部 移動通信技術開発部

<sup>\*\*</sup> ワイヤレス研究所

<sup>\*\*\*</sup> 防衛大学校

<sup>\*\*\*\*</sup> 千葉工業大学



セルを形成した。スーパーセルの長さDは,

$$D = \frac{\lambda_0}{|\sin \theta_i - \sin \theta_r|} \tag{1}$$

から計算される。ここで $\lambda_0$ は自由空間の伝搬波長で ある。 $\theta_i=0^\circ$ および $\theta_r=70^\circ$ の値では,設計周波数 28GHzの場合,Dは約11.40mmとなる。

#### 3. メタサーフェスの特性

**図2**は,反射角 *θ*<sub>*r*</sub>=70°を設計するために必要な MTS の反射位相を示したものである。

$$R = \frac{Z_S(x) - 120\pi}{Z_S(x) + 120\pi}$$
(2)

$$Z_{S}(x) = \frac{120\pi}{\sqrt{\cos\theta_{i}\cos\theta_{r}}} \frac{\sqrt{\cos\theta_{r}} + \sqrt{\cos\theta_{i}}e^{j\Phi_{r}(x)}}{\sqrt{\cos\theta_{i}} - \sqrt{\cos\theta_{r}}e^{j\Phi_{r}(x)}}$$
(3)  

$$\Phi_{r}(x) = -k_{0}(\sin\theta_{r})x + k_{0}(\sin\theta_{i})x$$
(4)

Rは MTS の反射係数,  $Z_s$ は MTS の表面インピーダンス,  $\Phi_r(x)$ は反射位相である。

得られた結果から,反射位相が-180°から180°ま で変化していることが確認できる。しかし,前項で



図2 反射角 70°の設計のための反射位相

述べたようにスーパーセルは4つの十字型共振器 (ユニットセル)で構成されているため, *U*<sub>1</sub>, *U*<sub>2</sub>, *U*<sub>3</sub>, *U*<sub>4</sub> の各位置における反射角 70°の設計のための反射位 相は,それぞれ-29°,-100°,+100°,+29°とな る。

これらの4つの位相の値を,垂直・水平偏波の両 方で達成するために, $l_v \ge l_H$ を変化させ,ユニット セルのシミュレーションを行った。十字型共振器は x 軸, y 軸に沿って構成され直交しているため, $l_v$ , $l_H$ をそれぞれ変化させても垂直・水平偏波の反射位相 応答は互いに影響せず独立している。

次に、反射波を調べるために、 $15\lambda_0 \times 15\lambda_0$ の有限 表面積を持つ MTS のレーダ断面積 (RCS)を計算し た。MTS には、図 1 (b) に示すように、垂直または 水平偏波を照射し、x-z 平面上での RCS パターンを 求め、図 3 (a) に示した。MTS は 70° 方向に入射波 を反射していることが確認できるが、0° 及び-70° では高いサイドローブが発生している。そこで、 MTS の性能を向上させるために、 $l_V \ge l_H$ をさらに最 適化した。図 3 (b) は、最適化された  $l_V \ge l_H$ の値を 設定した場合の RCS 放射を示している。垂直・水平 偏波の両方において、サイドローブレベルはメイン ローブと比べ 10dB 以下を実現した。

#### 4.まとめ

十字型共振器を用いた 28GHz 帯偏波共用反射型 メタサーフェスを開発した。これは,第5世代移動 通信システムのカバレッジエリアの拡大に適してい る。

佐々木隆吉

平成28年入社



### 参考文献

- S. Suyama, T. Okuyama, Y. Inoue, and Y., Kishiyama, "5G multi- antenna technology," *NTT DOCOMO Technical Journal*, Vol. 17, No. 4, pp. 29-39, 2016.
- (2) W. A. G. Khawaja, O. Ozdemir, F. Erden, I. Guvenc, M. Ezuma, and Y. Kakishima, "Effect of passive reflectors for enhancing coverage of 28 GHz mmWave systems in an outdoor setting," 2019 *IEEE Radio and Wireless Symposium*, Orlando, FL, USA, Jan. 2019.
- (3) L. Li, Q. Chen, Q. Yuan, K. Sawaya, T. Maruyama, T. Furuno and S. Uebayashi: "Microstrip Reflectarray Using Crossed-Dipole with Frequency Selective Surface of Loops," ISAP2008, TP-C05, 1645278, 2008.
- (4) F. Ding, A. Pors, and S. I. Bozhevolnyi, "Gradient metasurfaces: a review of fundamentals and applications," *Reports on Progress in Physics*, Vol. 81, No. 2, 2017.
- (5) A. D.-Rubio, V. S. Asadchy, A. Elsakka, and S. A. Tretyakov, "From the generalized reflection law to the realization of perfect anomalous reflectors," *Science Advances*, Vol. 3, No. 8, Aug. 2017.

\*



 Tanan Hongnara

 令和3年入社

 機器統括部
 移動通信技術開発部

 移動通信用アンテナ及び電波伝搬の研究・開発に従事

 IEEE 会員

 博士(工学)





機器統括部 移動通信技術開発部 移動通信用アンテナ及び電波伝搬の研 究・開発に従事 電子情報通信学会・IEEE 会員

佐々木克守 平成10年入社 機器統括部 移動通信技術開発部 移動通信用アンテナ及び電波伝搬の研 究・開発に従事 電子情報通信学会会員



佐藤 啓介
 平成18年入社
 ワイヤレス研究所
 移動通信用アンテナ及び電波伝搬の研究・開発に従事
 電子情報通信学会・IEEE 会員



大島 一郎
 平成7年入社
 ワイヤレス研究所
 移動通信用アンテナ及び電波伝搬の研究・開発に従事
 電子情報通信学会・IEEE 会員
 博士(工学)

#### 道下 尚文

中林 寛暁

防衛大学校 電磁メタマテリアルのアンテナ応用の研 究に従事 電子情報通信学会・IEEE 会員・日本シ ミュレーション学会会員 教授・博士(工学)



千葉工業大学 移動通信における電波伝搬の研究に従事 電子情報通信学会・IEEE 会員 准教授・博士(工学)



長 敬三
 千葉工業大学
 移動通信用アンテナの研究に従事
 電子情報通信学会・IEEE 会員
 教授・博士(工学)