

# 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\*      佐々木克守\*  
 佐藤 啓介\*\*      大島 一郎\*\*      道下 尚文\*\*\*  
 中林 寛暁\*\*\*\*      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

第5世代移動通信システム(5G)の導入が世界的に始まり、無線データレート的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。 $0^\circ$ の入射角( $\theta_i$ )から $70^\circ$ 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 $2.85 \times 2.85 \text{mm}^2$ 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 $l_v$ ,  $l_H$ 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( $U_1$ ,  $U_2$ ,  $U_3$ ,  $U_4$ )を配置して、一定の周期をもつスーパー

\* 機器統括部 移動通信技術開発部  
 \*\* ワイヤレス研究所  
 \*\*\* 防衛大学校  
 \*\*\*\* 千葉工業大学

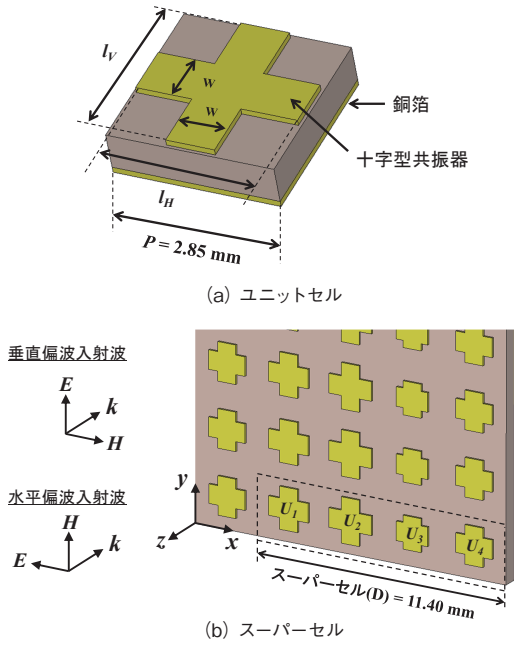


図1 メタサーフェスの構成

セルを形成した。スーパーセルの長さ  $D$  は、

$$D = \frac{\lambda_0}{|\sin \theta_i - \sin \theta_r|} \quad (1)$$

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  $\theta_r=70^\circ$  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。

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

$$Z_S(x) = \frac{120\pi}{\sqrt{\cos \theta_i \cos \theta_r}} \frac{\sqrt{\cos \theta_r} + \sqrt{\cos \theta_i} e^{j\Phi_r(x)}}{\sqrt{\cos \theta_i} - \sqrt{\cos \theta_r} e^{j\Phi_r(x)}} \quad (3)$$

$$\Phi_r(x) = -k_0(\sin \theta_r)x + k_0(\sin \theta_i)x \quad (4)$$

$R$  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  $-180^\circ$  から  $180^\circ$  ままで変化していることが確認できる。しかし、前項で

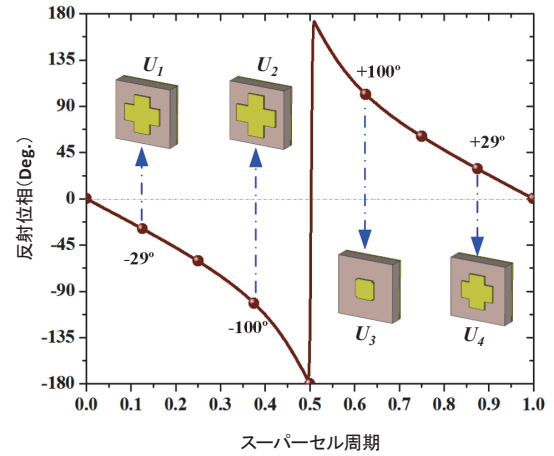


図2 反射角  $70^\circ$  の設計のための反射位相

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、 $U_1, U_2, U_3, U_4$  の各位置における反射角  $70^\circ$  の設計のための反射位相は、それぞれ  $-29^\circ, -100^\circ, +100^\circ, +29^\circ$  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、 $l_v$  と  $l_H$  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  $70^\circ$  方向に入射波を反射していることが確認できるが、 $0^\circ$  及び  $-70^\circ$  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、 $l_v$  と  $l_H$  をさらに最適化した。図3(b) は、最適化された  $l_v$  と  $l_H$  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。

