

Каналирование, маршрутизация и поляризационные особенности гиперболических плазмон-поляритонов на резонансных метаповерхностях

О.Е. Ермаков^{1,2}, А.А. Богданов¹

¹Физико-технический факультет, Университет ИТМО, Кронверкский проспект, 49, Санкт-Петербург, Россия, 197101

²Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, площадь Свободы 4, Харьков, Украина, 61022

Аннотация

В работе приведены результаты теоретического и экспериментального исследования свойств поверхностных плазмон-поляритонов, локализованных на анизотропных резонансных метаповерхностях, в оптическом, ближнем ИК и микроволновом диапазонах. Проведены анализ режима каналирования и классификация поляризационных состояний поверхностных волн на гиперболической метаповерхности.

Ключевые слова

Фотоника, плазмоника, поверхностный плазмон-поляритон, метаповерхности, гиперболическая среда, каналирование, поляризация

1. Введение

В результате развития, миниатюризации и планаризации современных оптических устройств, возникает острая необходимость в эффективном управлении локализованным светом. В связи с этим, поверхностные плазмон-поляритоны на двумерных структурах и материалах привлекают большое внимание и потенциально могут стать основными носителями информации в планарных оптических системах передачи и обработки данных. Однако, разнообразие режимов распространения и поляризационных состояний поверхностных волн на двумерных структурах до сих пор мало изучено.

В этой работе рассмотрены свойства анизотропных, в том числе гиперболических и самокомплементарных, резонансных метаповерхностей, позволяющих добиться одновременного управления маршрутизацией и поляризацией поверхностных волн.

2. Основные результаты

Развиты методы восстановления эффективной поверхностной проводимости анизотропной плазмонной метаповерхности из дальнеполюсных измерений [1]. С помощью развитого подхода эффективной поверхностной проводимости изучены дисперсионные и поляризационные особенности поверхностных волн на гиперболической метаповерхности – гиперболических плазмон-поляритонов [2,3], обладающих множеством режимов распространения и гибридной ТЕ-ТМ поляризацией [2]. Проведена классификация поляризационных состояний и показана возможность управления поляризацией и оптическим спиновым моментом импульса гиперболических плазмон-поляритонов за счёт изменения частоты и свойств метаповерхности [4,5]. Продемонстрирована поляризационная степень свободы волноводных [6] и поверхностных [7] мод, что проявляется в широкополосном вырождении дисперсий ТЕ и ТМ локализованных мод метаповерхности. Наконец, проанализированы степень расходимости и направленности гиперболических плазмон-поляритонов в режиме каналирования – ультрафокусированного распространения вдоль заданного направления, характеризующегося плоским изочастотным контуром поверхностной волны [7]. Теоретические результаты

подтверждены экспериментально в микроволновом [8], оптическом и ближнем ИК [1,9] частотных диапазонах.

3. Заключение

Полученные результаты показывают возможность эффективного управления направлением, режимом распространения и поляризацией поверхностных волн на анизотропных резонансных метаповерхностях, что может быть использовано во многих приложениях, включая оптические системы измерения и обработки данных, планарные линзы, поляризационные устройства плоской оптики и сенсоры.

4. Благодарности

Исследование выполнено при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (20-02-00636), гранта Президента РФ (МК-2224.2020.2) и Фонда развития теоретической физики и математики «БАЗИС».

5. Литература

- [1] Yermakov, O.Y. Effective surface conductivity of optical hyperbolic metasurfaces: from far-field characterization to surface wave analysis / O.Y. Yermakov, D.V. Permyakov, F.V. Porubaev, P.A. Dmitriev, A.K. Samusev, I.V. Iorsh, R. Malureanu, A.V. Lavrinenko, A.A. Bogdanov // *Scientific Reports*. – 2018. – Vol. 8. – P. 14135.
- [2] Yermakov, O.Y. Hybrid waves localized at hyperbolic metasurfaces / O.Y. Yermakov, A.I. Ovcharenko, M. Song, A.A. Bogdanov, I.V. Iorsh, Y.S. Kivshar // *Physical Review B*. – 2015. – Vol. 91(23). – P. 235423.
- [3] Gomez-Diaz, J.S. Hyperbolic plasmons and topological transitions over uniaxial metasurfaces / J.S. Gomez-Diaz, M. Tymchenko, A. Alù // *Physical Review Letters*. – 2015. – Vol. 114(23). – P. 233901.
- [4] Yermakov, O.Y. Spin control of light with hyperbolic metasurfaces / O.Y. Yermakov, A.I. Ovcharenko, A.A. Bogdanov, I.V. Iorsh, K.Y. Bliokh, Y.S. Kivshar // *Physical Review B*. – 2016. – Vol. 94(7). – P. 075446.
- [5] Yermakov, O.Y. Tunable spin-directional coupling for surface localized waves with anisotropic metasurface / O.Y. Yermakov, A.A. Bogdanov, I.V. Iorsh, K.Y. Bliokh, Y.S. Kivshar // *Proceedings of SPIE*. – 2017. – Vol. 10227. – P. 1022703.
- [6] Yermakov, O.Y. Broadband polarization degeneracy of guided waves in subwavelength structured ZnO pattern / O.Y. Yermakov, A.A. Bogdanov, A.V. Lavrinenko // *IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics*. – 2019. – Vol. 25(3). – P. 1-7.
- [7] Yermakov, O. Polarization states of surface electromagnetic waves on resonant anisotropic metasurfaces: from theory to experimental verification in microwaves / O. Yermakov, A. Bogdanov // *IEEE Ukrainian Microwave Week (UkrMW)*. – 2020. – P. 559-563.
- [8] Yermakov, O.Y. Experimental observation of hybrid TE-TM polarized surface waves supported by a hyperbolic metasurface / O.Y. Yermakov, A.A. Hurshkainen, D.A. Dobrykh, P.V. Kapitanova, I.V. Iorsh, S.B. Glybovski, A.A. Bogdanov // *Physical Review B*. – 2018. – Vol. 98(19). – P. 195404.
- [9] Samusev, A. Polarization-resolved characterization of plasmon waves supported by an anisotropic metasurface / A. Samusev, I. Mukhin, R. Malureanu, O. Takayama, D.V. Permyakov, I.S. Sinev, D. Baranov, O. Yermakov, I.V. Iorsh, A.A. Bogdanov, A.V. Lavrinenko // *Optics Express*. – 2017. – Vol. 25(26). – P. 32631-32639.