

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, МЕХАНИКИ И ОПТИКИ

СБОРНИК ТРУДОВ  
VII МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ  
МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И СПЕЦИАЛИСТОВ  
«ОПТИКА – 2011»

СБОРНИК ТРУДОВ СЕМИНАРОВ  
«ТЕРАГЕРЦОВАЯ ОПТИКА И СПЕКТРОСКОПИЯ»,  
«ОПТИЧЕСКИЕ МЕТАМАТЕРИАЛЫ, ФОТОННЫЕ КРИСТАЛЛЫ  
И НАНОСТРУКТУРЫ»

СБОРНИК ТРУДОВ ШКОЛЫ  
ПО МЕТАМАТЕРИАЛАМ И НАНОСТРУКТУРАМ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

17-21 октября 2011



Санкт-Петербург  
2011

ББК 22.34. Оптика  
Т79  
УДК 535

**Т79** Сборник трудов Международной конференции и семинаров.

Т.1. «Оптика-2011» Т.2. «Терагерцовая оптика и спектроскопия», «Оптические метаматериалы, фотонные кристаллы и наноструктуры» Т.3. Школа по метаматериалам и наноструктурам. Санкт-Петербург. 17-21 октября 2011 / Под ред. проф. В.Г. Беспалова, проф. С.А. Козлова.– СПб: НИУИТМО, 2011. – Т.1. 577 с., Т.2. 44 с., Т.3. 100 с.: с ил.

В сборник вошли труды конференции «Оптика-2011», семинаров «Терагерцовая оптика и спектроскопия» и «Оптические метаматериалы, фотонные кристаллы и наноструктуры», а также Школы по метаматериалам и наноструктурам, прошедших 17-21 октября 2011 года.

Издание сборника поддержано грантом Российского фонда фундаментальных исследований № 11-02-06826-моб\_г

ISBN 978-5-7577-0385-5

ББК 22.34. Оптика



В 2009 году Университет стал победителем многоэтапного конкурса, в результате которого определены 12 ведущих университетов России, которым присвоена категория «Национальный исследовательский университет». Министерством образования и науки Российской Федерации была утверждена программа его развития на 2009–2018 годы. В 2011 году Университет получил наименование «Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики»

© Авторы, 2011

© Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, 2011

# ИДЕАЛЬНАЯ КОНВЕРСИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН

Новицкий А.В.\*\*\*, Галынский В.М. \*\*

\*Технический университет Дании, Люнбю, Дания

\*\*Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь

Обнаружены условия, при которых поверхностная волна может пройти через границу раздела сред, без преобразования в объемную. Использование данного эффекта будет востребовано при разработке и создании поляризационных фильтров и разделителей пучков поверхностных волн.

С помощью последних достижений нанотехнологий и плазмоники все больше различных устройств обработки сигналов конструируется<sup>1-3</sup> с использованием поверхностных поляритонов (плазмон-поляритонов) — поверхностных электромагнитных волн. Для их существования необходимо, чтобы, по крайней мере, одна из граничащих сред обладала либо отрицательным показателем преломления, либо анизотропией (но в этом случае направления распространения волн будут ограничены). В данной работе исследуются условия для материальных параметров граничащих сред, при которых поверхностная волна, возбужденная на границе раздела между двумя средами, могла бы без рассеяния или образования объемных волн распространяться вдоль этой границы, но уже с другими граничащими средами, см. рисунок 1.

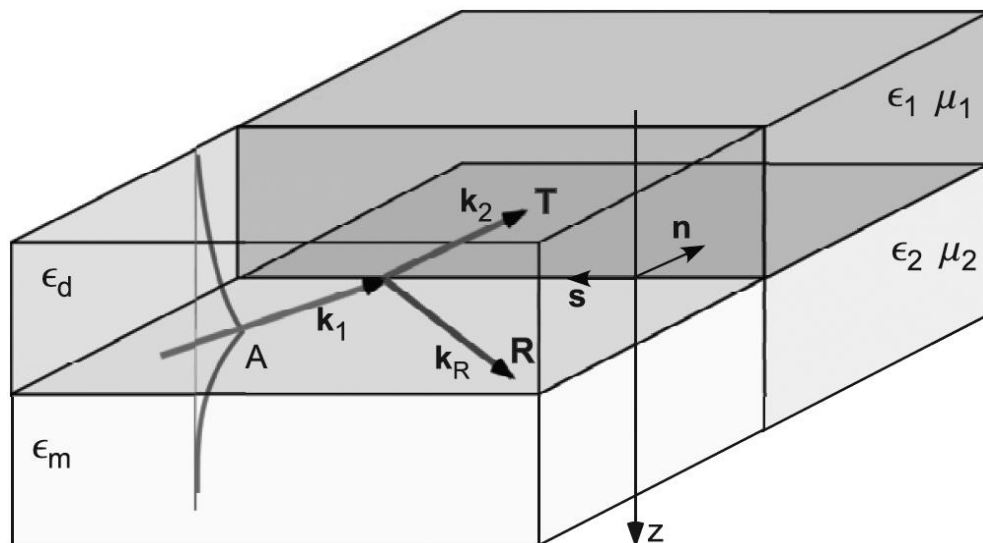


Рис. 1. Геометрия задачи: поверхностный поляритон возбужден на между металлом  $\epsilon_m$  и диэлектриком  $\epsilon_d$  и распространяется с волновым вектором  $k_1$ . На границе с другими двумя средами поверхностная волна частично отражается (с волновым вектором  $k_R$ ) и преломляется с волновым вектором  $k_2$

Была решена граничная задача для волны, взаимодействующей сразу с четырьмя средами<sup>4</sup>. На границе, образованной металлом  $\epsilon_m$  и диэлектриком  $\epsilon_d$ , возбужден плазмон-поляритон — ТМ волна распространяющаяся в плоскости границы раздела в направлении заданном волновым вектором  $k_1 = \omega/c \sqrt{\epsilon_d \epsilon_m / \epsilon_d + \epsilon_m}$  и экспоненциально затухающая при удалении от границы. Поскольку исследуется идеальная конверсия поверхностных волн, то на границе с двумя другими средами, заданными материальными параметрами  $\epsilon_1$ ,  $\mu_1$  и  $\epsilon_2$ ,  $\mu_2$ , преломленная и отраженная волна были записаны тоже в виде поверхностных волн. На границе между четырьмя средами записаны граничные условия. Выполнение

граничных условий можно в двух случаях, в зависимости от волнового вектора преломленной волны  $k_2$ :

$$k_2 = k_1, \quad (1)$$

$$k_2 \neq k_1, \quad k_2 = k_1 \sqrt{\frac{\varepsilon_m \mu_1 - \varepsilon_d \mu_2}{\varepsilon_m \mu_2 - \varepsilon_d \mu_1}}. \quad (2)$$

В обоих случаях следует, что среды, соседствующие с металлом и диэлектриком, должны быть магнитными  $\mu_1 \neq 1$ ,  $\mu_2 \neq 1$  (в противном случае мы получаем отсутствие границы раздела).

Для случая (1) получены условия для материальных параметров:

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_d \frac{\varepsilon_m - \varepsilon_d}{\varepsilon_m \mu_2 - \varepsilon_d \mu_1}, \quad \varepsilon_2 = \varepsilon_m \frac{\varepsilon_m - \varepsilon_d}{\varepsilon_m \mu_2 - \varepsilon_d \mu_1}, \quad (3)$$

найлены амплитудные коэффициенты пропускания  $T$  и отражения  $R$  для поверхностной волны (аналоги формул Френеля для объемных волн), причем они не зависят от угла падения:

$$T = \frac{2}{\varepsilon_m / \varepsilon_2 + 1}, \quad R = \frac{\varepsilon_m / \varepsilon_2 - 1}{\varepsilon_m / \varepsilon_2 + 1}. \quad (4)$$

Интересно, что при условии  $\mu_1 = \mu_2$ , преломленный поверхностный поляритон не изменяет первоначального направления. Получается, что любая поверхностная волна, при выполнении условий (1), (3), сохраняет свою структуру при переходе во вторую пару сред, изменяется только ее амплитуда. При условии  $\varepsilon_2 = \varepsilon_m / 3$ ,  $\mu_1 = \mu_2 = 3$  граница между четырьмя средами превращается в разделитель пучка. Для случая (2) конверсия поверхностных волн возможна только при нормальном падении на границу, коэффициенты пропускания и отражения находятся по тем же формулам (4).

В работе показано, что конверсия поверхностных электромагнитных волн с поверхности металл-диэлектрик возможна только на границу магнитных изотропных сред. Обнаружены условия, при которых волновые векторы и направление распространения плазмон-поляритонов при конверсии не изменяется. Получены коэффициенты отражения и преломления для поверхностных волн, причем оказалось, что они зависят, только от материальных параметров граничащих сред. Данный эффект можно использовать для разделения поверхностной волны (аналог разделителя пучка для объемных волн). В<sup>4</sup> исследована конверсия поверхностных электромагнитных волн для диспергирующих сред. Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований, грант № Ф10М-021.

1. S.A. Maier, *Plasmonics: Fundamentals and Applications*, Berlin: Springer, (2007).
2. S.I.Bozhevolnyi, *Plasmonic Nanoguides and Circuit*, Singapore: Pan Stanford Publishing, (2009).
3. D.K.Gramotnev, S. I.Bozhevolnyi, *Nature Photon.* **4**,83–91, (2010).
4. A.V.Novitsky, *J. Opt.* **12**, 115705, (2010).

4. H. F. Ma and T. J. Cui, *Nature Commun.*, **1(3)**, 1–6, (2010).
5. Liu R, *Science*, **323**, 366–369, (2009).
6. A. Alù and N. Engheta, *Phys. Rev. E*, **72**, 016623, (2005).
7. A. A. Zharov and A. A., Zharova, *Bulletin of the Russian Academy of Science: Physics*, **74**, 88-92, (2010).