

Title goes here

# Mantle cloak: Invisibility induced by a surface

**Andrea Alu**

*Department of Electrical and Computer Engineering, University of Texas at Austin,  
1 University Station C0803, Austin, Texas 78712, USA*

e-mail: alu@mail.utexas.edu

## Аннотация

Недавно для различных задач маскировки были применены экзотические взаимодействия волн метаматериалов, но реализация метаматериалов в практической маскировке еще далека от идеала. Текущие методы изготовления по своей природе основаны на объемных свойствах метаматериалов, которые требуют хоть сколько-нибудь заметную электрическую толщину. Я представляю здесь идею поверхности маскировки, показывая, что узорчатые метаматериалы могут давать те же эффекты маскировки в более простой и более тонкой геометрии. Токи, порожденные на неактивной поверхности, служат для резкого подавления видимости данного объекта.

## 1 Введение

Последние исследования в технологии метаматериалов показали, что невидимость, прозрачность и маскировка могут быть получены разными способами, основанными на сложном взаимодействии волн искусственных материалов и метаматериалов (смотри [?, ?]). Основанная на преобразованиях маскировка [?]-[?] является самой популярной техникой, недавно была предпринята попытка расширить экспериментальную реализацию до видимых частот [?]. Принципы работы такой маскировки заключен в электромагнитных свойствах объемных метаматериалов с заданным специфичным анизотропным и неоднородным профилем, который может направлять электромагнитные волны вокруг заданной области пространства, изолируя и делая невидимым любой объект, помещенный в такую область. Другим жизнеспособным методом маскировки является плазмонная [?, ?], основанная на аннулировании рассеяния особенностей низко-проницаемых метаматериалов, которые могут быть поляризованы необычными способами, а так же аномально локализованные резонансные механизмы [?], основанные на квазистатических резонансных

свойствах метаматериалов, которые могут эффективно маскировать заданную область. Все эти техники, так же как и многие другие, включающие плащ из метаматериалов, основаны на специфичных объемных свойствах слоев метаматериалов. В общем, эти искусственные метаматериалы основаны на коллективном электромагнитном ответе составляющих их включений, которые взаимодействуют с падающими электромагнитными волнами как объем, получая эффект, кардинально отличающийся от эффекта, получаемого от индивидуальных материалов, из которых они составлены. С одной стороны, это может давать большую степень свободы для получения аномальных эффектов, таких как маскировка, с другой стороны плащи из метаматериалов изначально требуют определенной тонкости, из-за конечного размера составляющих включений. В случае с основанными на преобразовании плащами плащами, в частности, вовлеченный неоднородный профиль требует плащ, который имеет толщину, сравнимую по размеру с маскируемой областью. Более того, обычно требуется некоторое пространство между плащом из метаматериалов и маскируемым объектом, чтобы гарантировать, что зернистость материала не порождает нежелательных сцепок с объектом, которые могут повлиять на его электромагнитные свойства в целом [?]. Более тонкий плащ это не только непрактично и нежелательно, но также означает уменьшение пропускной способности и увеличение чувствительности [?]. Даже техника плазмонной маскировки, которая требует относительно тонкого плаща, по сравнению с основанными на преобразовании метаматериалами, может требовать на практике конечной толщины для надлежащей работы [?, ?].

В другой области, понятие узорной тонкой металлической поверхности хорошо известно в различных инженерных приложениях, с соответствующими книгами и обзорами по этой теме (смотри [?]). При условии, что периодический рисунок на металлической поверхности намного меньше, чем длина волны, ее электромагнитное поведение может быть эффективно описано через усредненный импеданс поверхности  $Z_s = R_s - iX_s$ , который связывает среднее тангенциальное электрическое поле на поверхности с средней плотностью индуцированного электрического тока как  $\mathbf{E}_{tan} = Z_s \mathbf{J}$ . Импеданс  $Z_s$  обычно предполагает широкий диапазон значений, как функция пространства и частоты, из которой происходит название “Частотно-избирательная поверхность” (frequency selective surface (FSS)). В лучшем случае, легко показать, что  $Z_s$  чисто мнимое,  $R_s$  относится только к поглощению. В более общем случае, однако, значение  $Z_s$  может зависеть от ориентации тангенциального электрического поля, предполагающую анизотропную и тензорную структуру  $\underline{Z}_s$ . Скалярная запись может быть приемлимой для особых поляризаций

падающей волны.

Далее, я покажу что единичной узурчатой FSS может быть достаточно, чтобы произвести эффект маскировки, аналогичный эффекту с плащом из метаматериалов, даже в идеальном пределе с поверхностью нулевой толщины. Это может породить тонкие плащи в полученных технологиях с длинными историями применений, обещает более легкую реализацию, возможное прилегание к форме объекта, низкий профиль и относительно большой диапазон работы. Схожие идеи могут быть расширены на металлические поверхности тетрагерцевых и оптических частот, открытие перспектив для реализации тонких плащей с повышенной производительностью. Мантиевая маскировка (*mantle cloak*), которая предложена здесь может приблизить нас к практической реализации маскировки, так как она не будет опираться на свойства, определяющих материал, а только на поперечное сопротивление узорной металлической поверхности. Следует упомянуть, что мягкий и трудный FSS уже применялись в прошлом в устройствах снижения рассеяния [?], но использовали идеи, решительным образом отличающиеся от примененных здесь. Здесь же, интерес заключается в реализации механизма маскировки, который не зависит от угла падения и, возможно, от поляризации волны, что будет описано далее.