

Численное моделирование процесса измерения электромагнитного поля апертурным кантилевером

Е.С. Козлова^{1,2}

¹Институт систем обработки изображений, НИЦ «Курчатовский институт»;

²Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева
Самара, Россия
kozlova.elena.s@gmail.com

С.С. Стафеев^{1,2}

¹Институт систем обработки изображений, НИЦ «Курчатовский институт»;

²Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева
Самара, Россия
Samara, Russia
sergey.stafeev@gmail.com

В.В. Котляр^{1,2}

¹Институт систем обработки изображений, НИЦ «Курчатовский институт»;

²Самарский национальный исследовательский университет им. академика С.П. Королева
Самара, Россия
kotlyar@ipsiras.ru

Аннотация — В этой работе мы оцениваем влияние поляризации падающего излучения на измерение пирамидальным апертурным кантилевером. Численное моделирование процесса обнаружения было выполнено с применением метода конечных разностей во временной области с учетом частотной зависимости. Мы численно продемонстрировали, что угол падения и поляризация пучка могут влиять на процесс измерения апертурным алюминиевым кантилевером. Результаты моделирования показывают, что с увеличением угла наклона общая интенсивность внутри кантилевера уменьшается примерно на 50% и 30% для линейно и циркулярно поляризованного света. Это доказывает, что апертурный алюминиевый кантилевер нечувствителен к продольной составляющей.

Ключевые слова — СБОМ, пирамидальный апертурный кантилевер, линейная поляризация, круговая поляризация, угол падения.

I. ВВЕДЕНИЕ

Применяя сканирующую ближнепольную оптическую микроскопию (СБОМ), ученые имеют возможность измерять световые поля на границе раздела двух сред [1]. Два типа кантилеверов для измерения используются в СБОМ: апертурные и безапертурные [2]. При измерениях возникает несколько важных вопросов, например, эффект наблюдателя или оценка чувствительности кантилевера к световым полям с различными характеристиками [3]. В этом исследовании мы продолжаем изучение взаимодействия кантилевера и света, влияния поляризации лазерного пучка на процесс измерения алюминиевым апертурным пирамидальным кантилевером.

II. МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

В данном исследовании рассматривался апертурный пирамидальный кантилевер из алюминия. Для описания зависимости диэлектрической проницаемости от частоты излучения использовалась модель Друде-Лоренца [4]. Толщина стенок рассматриваемого кантилевера составляла 67,4 нм. На вершине пирамидального кантилевера располагалась небольшая квадратная щель размером 100 нм. Излучение падало под некоторым углом α к оси x или y . Расстояние от плоскости источника до острия зонда равнялось 300 нм. Все излучение, прошедшее через маленькое отверстие в верхней части кантилевера, фиксировалось специальным монитором, размещенным внутри кантилевера. На Рис. 1 показана схема моделирования.

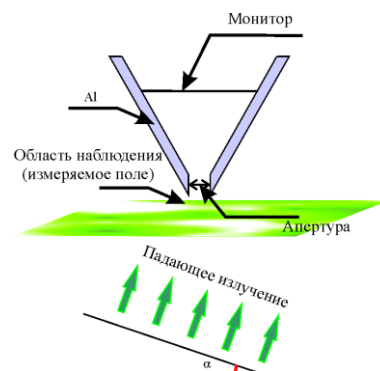


Рис. 1. Изображения реального кантилевера (а, б) и схематическое описание моделируемых объектов (в)

В этом исследовании мы рассматривали Гауссовы пучки с линейной и левой круговой поляризацией в качестве падающего излучения. Длина волны была равна $\lambda = 532$ нм.

Численное моделирование выполнялось в программе FullWAVE, основанной на методе конечных разностей во временной области с учетом частотной зависимости диэлектрической проницаемости (метод $(FD)^2TD$). Размер пространственной сетки по поперечным координатам h_x и h_y 7,5 нм, по продольной h_z 10 нм псевдодискретный шаг ($\tau = ct$, c - скорость света, t - время) 4 нм. После моделирования в FullWAVE все полученные результаты были усреднены. В каждой серии численных экспериментов анализировалась суммарная измеренная интенсивность I_{tot} , рассчитываемая как сумма значений интенсивности в каждой точке области фиксации.

Также было проведено моделирование распространения света в свободном пространстве с целью определения вклада компонент поля в результирующее распределение.

III. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Мы исследовали влияние угла падения α (Рис. 1) на процесс измерения. Угол α изменялся от 0 до 45 градусов с шагом $\Delta\alpha = 1^\circ$. Результаты моделирования и расчетов представлены на Рис. 2.

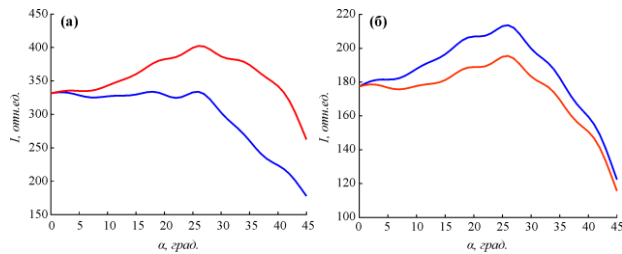


Рис. 2. Интенсивность в области монитора, собранная алюминиевым кантилевером с прямоугольной апертурой, при наклоне падающего света в направлении оси x (синяя линия) или оси y (красная линия) для линейной (а) и круговой (б) поляризации

Для анализа результатов были построены графики зависимости продольной и поперечной составляющих компонент интенсивности от угла наклона в области измерения светового поля в отсутствии кантилевера. Результаты представлены на Рис. 3 и 4.

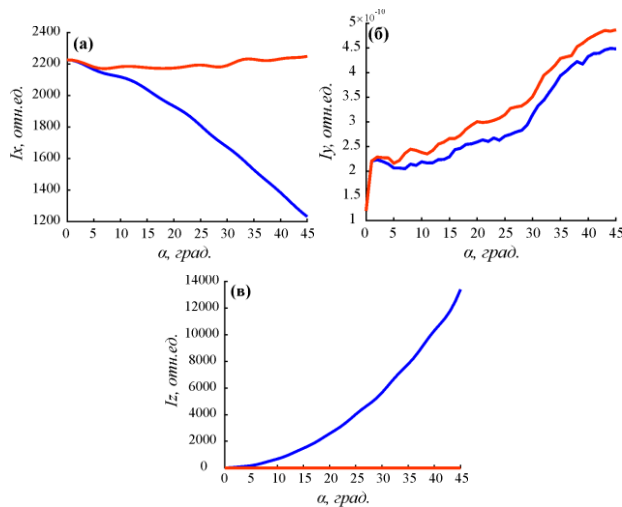


Рис. 3. Интенсивность в области монитора, собранная алюминиевым кантилевером с прямоугольной апертурой, при наклоне падающего света в направлении оси x (синяя линия) или оси y (красная линия) для линейной (а) и круговой (б) поляризации

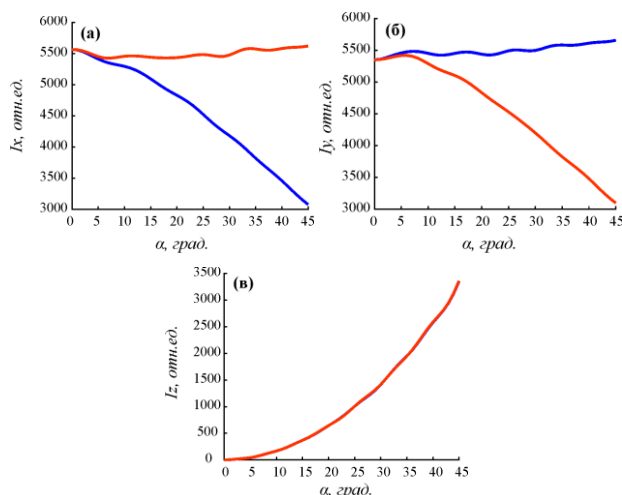


Рис. 4. Интенсивность в области монитора, собранная алюминиевым кантилевером с прямоугольной апертурой, при наклоне падающего света в направлении оси x (синяя линия) или оси y (красная линия) для линейной (а) и круговой (б) поляризации

Результаты моделирования показывают, что с увеличением угла наклона, начиная с 26 градусов, общая интенсивность внутри кантилевера начинает уменьшаться. Для случая падающего света с линейной поляризацией регистрируемая интенсивность падает на 53,6% для наклона по направлению x и на 20,8% для наклона по направлению y по сравнению со случаем нормального падения пучка. Для случая падающего света с круговой левой поляризацией регистрируемая интенсивность падает на 31% для наклона по направлению x и на 34,8% для наклона по направлению y . Мы также рассчитали вклад продольной составляющей на общую интенсивность измеряемого светового поля в случае угла наклона в 45°. Интенсивность I_z составляет 52,1% и 27,8% от общей интенсивности I для линейной и круговой поляризации соответственно. Полученные значения подтверждают, что алюминиевый апертурный кантилевер не чувствителен к продольной компоненте.

IV. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе мы промоделировали процесс измерения светового поля с помощью полого алюминиевого кантилевера (Рис. 1). В качестве падающего излучения мы рассмотрели линейно и циркулярно поляризованный Гауссов пучок с длиной волны 532 нм. Численно показано, что поляризация и угол наклона излучения существенно влияют на процесс измерения. Результаты моделирования показывают, что с увеличением угла наклона общая интенсивность внутри кантилевера уменьшается примерно на 50% и 30 % для линейно и циркулярно поляризованного света соответственно (Рис. 2). Это доказывает, что апертурный алюминиевый кантилевер нечувствителен к продольной составляющей, поскольку она появляется в измеряемых полях при распространении, а ее влияние на общую интенсивность измеряемого светового поля в случае угла наклона в 45° составляет около 50% (Рис. 3) и 30% (Рис. 4) для линейной и круговой поляризации соответственно.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант 23-12-00236) в частях «Методы и материалы», «Обсуждение результатов», «Заключение», и НИЦ «Курчатовский институт» в части «Введение».

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Abed, J. Investigation of Broadband Surface Plasmon Resonance of Dewetted Au Structures on TiO₂ by Aperture-Probe SNOM and FDTD Simulations / J. Abed, F. Alexander, I. Taha, N. Rajput, C. Aubry, M. Jouiad // Plasmonics. – 2019. – Vol.14. – P. 205–218. DOI: 10.1007/s11468-018-0794-3.
- [2] Kassing, R. Sensors for scanning probe microscopy / R. Kassing, I. Rangelow, E. Oesterschulze, M. Stuke // Appl. Phys. A. – 2003. – Vol. 76. – P. 907–911. DOI: 10.1007/s00339-002-1974-7.
- [3] Mikhailova, T.V. Light polarisation and intensity behaviour in aperture cantilevers with carbon tip created by focused ion beam / T.V. Mikhailova, Y.E. Vysokikh, S.Y. Krasnoborodko, A.S. Kolomiyshev, A.A. Fedotov // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. – 2019. – Vol. 699. P. 012030. DOI: 10.1088/1757-899X/699/1/012030.
- [4] Rakic, A. D. Optical properties of metallic films for vertical-cavity optoelectronic devices / A.D. Rakic, A.B. Djurisic, J.M. Elazar, M.L. Majewski // Appl. Opt. - 1998. - Vol. 37. - P. 5271–5283. DOI: 10.1364/AO.37.005271.