

# К АНАЛИЗУ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЗАДАЧИ ОБ ОТРАЖЕНИИ СВЕТА ОТ СЛОИСТО-НЕОДНОРОДНЫХ СРЕД

В.А. Карпенко<sup>1</sup>, В.Н. Лаптинский<sup>2</sup>, А.А. Романенко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Белорусско-Российский университет, Мира 43, 212005 Могилев, Беларусь

<sup>2</sup> Институт технологии металлов НАН Беларуси, Бялыницкого-Вирули 11, 212030 Могилев, Беларусь  
intehmet@mogilev.unibel.by

При исследовании свойств неоднородных поверхностных слоев оптическими методами внутреннего отражения и эллипсометрии используются приближенные аналитические решения электродинамической задачи об отражении света. Обычно эта задача формулируется на основе системы обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка, решения которой отыскиваются с помощью теории возмущений. Однако приемлемость полученных таким образом решений вследствие высокой чувствительности эллипсометрического метода к вариациям диэлектрической проницаемости ограничивается оптически тонкими слоями. Целью данной работы является разработка новой математической модели задачи об отражении света от слоисто-неоднородных сред и эффективного метода ее анализа.

Энергетический коэффициент отражения или квадрат модуля коэффициента отражения  $R$ , определяемый формулой (2.15) [1], является экспериментально измеряемой величиной. В

связи с этим, для оценки точности первого приближения для  $s$ - и  $p$ - поляризованных волн, по формуле (2.15) вычислены соответствующие величины  $|R_s|^2$  и  $|R_p|^2$  с использованием значения  $r_s(0)$  и  $r_p(0)$  (см. [1]), полученных путем численного решения уравнения для наиболее известных моделей  $\varepsilon(z)$  неоднородных изотропных слоев. Затем по формуле (2.22) [1] вычислены в первом приближении энергетические коэффициенты отражения  $|R_{s1}|^2$  и  $|R_{p1}|^2$  для различных значений угла падения. Для распределений  $\varepsilon(z)$  использована формула  $\varepsilon(z) = \varepsilon_\infty + \Delta\varepsilon f(z, d)$ , где  $\varepsilon_\infty$  – диэлектрическая проницаемость в объеме,  $\Delta\varepsilon$  – скачок диэлектрической проницаемости,  $d$  – масштабный фактор. В качестве  $f(z, d)$  рассмотрены гауссова, экспоненциальная и линейная зависимости. Соответствующие значения  $\varepsilon_\infty$ ,  $\Delta\varepsilon$ ,  $d$  приняты одинаковыми для всех распределений, а именно  $\varepsilon_\infty = 2.25$ ,  $\Delta\varepsilon = 0.1$ ,  $d = 0.2$ , а в качестве окружающей среды принят воздух.

Показано, что точные значения энергетических коэффициентов отражения  $|R_s|^2$  и  $|R_p|^2$  отличаются от приближенных  $|R_{s1}|^2$  и  $|R_{p1}|^2$  лишь в седьмом знаке после запятой. Установление таких различий находится за пределами возможностей современного эксперимента.

Таким образом, предложена математическая модель задачи об отражении волн от слоисто-неоднородных сред, разработан метод нахождения ее приближенных аналитических решений и на его основе получена аналитическая формула для коэффициента отражения, численный анализ которой для конкретных распределений диэлектрической проницаемости показал ее приемлемость для эллипсометрических исследований неоднородных поверхностных слоев.

Работа выполнена при финансовой поддержке БРФФИ (грант № Ф06-311).

### Литература

1. Карпенко В.А., Лаптинский В.Н., Романенко А.А. Комплексное исследование задачи об отражении света от тонкого неоднородного слоя. Могилев: Белорусско-Российский ун-т, 2008 (Препринт / Нац. акад. наук Беларуси. Ин-т технол. металлов; № 9).