

УДК 538.56:625.365

Двухслойное просветление поглощающей подложки

Э. Г. Исмибейли, С. Р. Касимова

Найдены условия и частотная полоса полного (безотражательного) поглощения электромагнитного излучения в плоском слое поглощающего диэлектрика с нанесенными на него двумя просветляющими и непоглощающими покрытиями, одно из которых имеет четвертьволновую толщину.

PACS: 41.20.-q

Ключевые слова: просветление, подложка, поглощение, частотная полоса, покрытие.

Введение

Для увеличения величины поглощения электромагнитного излучения в плоском слое поглощающего вещества применяют наносимое на него просветляющее покрытие из непоглощающего вещества [1]. При заданных значениях частоты падающего излучения и оптических параметрах подложки и покрытия полное или безотражательное поглощение излучения в подложке обычно достигается выбором толщины слоя покрытия, но только при условии выполнения соотношения $n \leq n_1^2$, где n и n_1 , соответственно, значения коэффициентов преломления веществ подложки и покрытия [2]. В тех случаях, когда это соотношение не выполняется, условие полного поглощения излучения в подложке становится возможным, если использовать второе просветляющее покрытие, наносимое на первое (основное) просветляющее покрытие [3].

В данной работе найдены условия и частотная полоса полного (безотражательного) поглощения электромагнитного излучения в плоском слое поглощающего диэлектрика с нанесенными на него двумя просветляющими и непоглощающими покрытиями.

Физическая модель

Рассмотрим задачу отражения плоско-поляризованной волны, падающей нормально на поглощающую подложку с нанесенными на нее основным и дополнительным просветляющими покрытиями с соответствующими величинами коэффициентов преломления волны n_1 и n_2 и толщинами

слоев l_1 и l_2 . При этом будем считать, что вещество подложки имеет коэффициент преломления волны n и экстинкцию χ , а толщина подложки бесконечна по величине.

Входное сопротивление подобной трехслойной плоской системы равно

$$Z_{\text{вх}} = Z_2 \frac{Z_{\text{вх0}} + iZ_2 \operatorname{tg}(2\pi n_2 l_2 / \lambda)}{Z_2 + iZ_{\text{вх0}} \operatorname{tg}(2\pi n_2 l_2 / \lambda)}, \quad (1)$$

где входное сопротивление двухслойной системы, состоящей из подложки и первого (основного) просветляющего покрытия, записывается в виде:

$$Z_{\text{вх0}} = Z_1 \frac{Z + iZ_1 \operatorname{tg}(2\pi n_1 l_1 / \lambda)}{Z_1 + iZ \operatorname{tg}(2\pi n_1 l_1 / \lambda)}. \quad (2)$$

Входящие в уравнения (1) и (2) значения $Z = Z_0 / (n - i\chi)$; $Z_1 = Z_0 / n_1$; $Z_2 = Z_0 / n_2$ и Z_0 являются, соответственно, волновыми сопротивлениями веществ подложки, основного и дополнительного просветляющих покрытий и воздушной среды.

Введем обозначения $Z_{\text{вх}} = Z_0(E + iF)$; $Z_{\text{вх0}} = Z_0(M + iN)$; $a = \operatorname{tg}(2\pi n_1 l_1 / \lambda)$; $b = \operatorname{tg}(2\pi n_2 l_2 / \lambda)$; $y = \chi / n$. После подстановки их в уравнения (1) и (2) и с учетом выражений для Z , Z_1 и Z_2 получим следующее выражение:

$$Z_{\text{вх}} = \frac{1}{n_2} \frac{1 + bn_2(M + iN)}{b + in_2(M + iN)}, \quad (3)$$

$$\text{где } M = \frac{n(1 + a^2)}{a^2 n^2 (1 + y^2) - 2yann_1 + n_1^2};$$

$$N = \frac{y n n_1 (1 + a^2) + a [n^2 (1 + y^2) - n_1^2]}{n_1 [a^2 n^2 (1 + y^2)] - 2yann_1 + n_1^2}.$$

Условия просветления поглощающей подложки

Выберем толщину дополнительного просветляющего слоя равной четверти длины волны в ве-

Исмибейли Эльдар Гаплан, научный сотрудник.
Касимова Севда Расим, доцент.
Институт химических проблем НАН Азербайджана.
Азербайджан, AZ1143, г. Баку, пр. Г. Джавида, 29.
Тел. (99412) 439-38-71. Факс (99412) 510-85-93.
E-mail: ИРСНТ@itpcht.ab.az, chem@science.az

Статья поступила в редакцию 19 августа 2011 г.

© Исмибейли Э. Г., Касимова С. Р., 2012

ществе этого слоя. Тогда $b = 0$, и входное сопротивление рассматриваемой трехслойной системы будет равно:

$$\frac{Z_{\text{вх}}}{Z_0} = E + iF = \frac{M - iN}{n_2^2 (M^2 + N^2)}. \quad (4)$$

В этом случае для выполнения условия полного поглощения волны в подложке необходимо, чтобы $E = 1$ и $F = 0$. Следовательно, получаем такие соотношения:

$$N = 0; \quad n_2^2 M = 1. \quad (5)$$

Из первого соотношения (5) в соответствии с выражением для N следует, что толщина l_1 основного просветляющего покрытия должна быть найдена из следующего уравнения:

$$\frac{l_1}{\lambda} = \frac{1}{4\pi n_1} \arctg \frac{2\chi n_1}{n_1^2 - n^2 - \chi^2}. \quad (6)$$

Учитывая выражение (3) для M , из второго соотношения (5) получаем, что

$$\chi = \sqrt{(n - n_2^2)(n_1^2 / n_2^2 - n)}. \quad (7)$$

Таким образом, уравнения (6) и (7) определяют значения оптических параметров веществ рассматриваемой слоистой системы и толщины слоев обоих просветляющих покрытий, при которых выполняются условия полного или безотражательного поглощения волны заданной частоты. При этом толщина дополнительного просветляющего слоя выбирается кратной четверти длины волны в веществе этого слоя, тогда как толщина основного просветляющего слоя определяется с учетом соотношения (6). Она оказывается близкой к величине, кратной половине длины волны в веществе этого слоя, а именно,

$$\frac{l_1}{\lambda} = \frac{1}{n_1} (0,5 + \Delta), \quad (8)$$

где $\Delta = \frac{1}{4\pi} \arctg \frac{2\chi n_1}{n_1^2 - n^2 - \chi^2}$.

На рис. 1 представлены расчетные соотношения между значениями оптических параметров подложки n , χ и дополнительного покрытия n_2 , а также отклонения Δ от величины, кратной $\lambda/2$ в основном покрытии. Для него используется вещество с показателем преломления $n_1 = 1,5$. Зависимости рис. 1 могут быть использованы при нахождении оптических параметров веществ, входящих в рассматриваемую трехслойную систему.

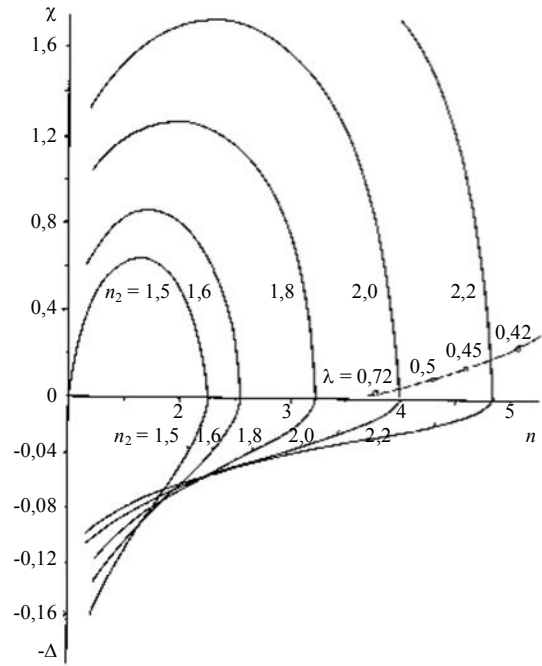


Рис. 1. Зависимости между выбранными значениями коэффициентов преломления n и поглощения χ для поглощающей подложки, дополнительного просветляющего покрытия n_2 и отклонения Δ толщины основного покрытия от величины, кратной $0,5$ длины волны в нем. Коэффициенты преломления волны соответственно основного $n_1 = 1,5$. Длины волны λ падающего излучения, мкм. Штриховая кривая — зависимость χ от n и крениия в области его дисперсии

Полоса просветления трехслойной системы

Для определения величины частотной полосы просветления воспользуемся уравнением

$$\Delta\lambda = \frac{4\rho_r}{\sqrt{(E')_0^2 + (F')_0^2}}, \quad (9)$$

где ρ_r — выбранная величина модуля коэффициента отражения волны рассматриваемой системы на краях полосы просветления (т. е. вблизи); E'_0, F'_0 — производные вещественной и мнимой составляющих входного сопротивления системы при $\rho = 0$ [4].

С учетом уравнений (4)–(8), определяющих условие двойного просветления поглощающей подложки, имеем следующие выражения:

$$E'_0 = 0; \quad F'_0 = \frac{(n_2^4 - n_1^2)(2\pi + 4\pi\Delta) + \pi n_1 n_2 (n_2^2 - 1)}{2\lambda_0 n_1 n_2^2}, \quad (10)$$

где λ_0 — длина волны падающего излучения, соответствующая условиям просветления подложки.

Используем выражения (10) в уравнении (9). Получим

$$\frac{\Delta\lambda}{\rho_r \lambda_0} = \frac{8n_1 n_2^2}{\pi [(n_2^4 - n_1^2)(2 + 4\Delta) + n_1 n_2 (n_2^2 - 1)]}. \quad (11)$$

Если $n_1 = n_2$, то уравнение (11) преобразуется в уравнение, совпадающее с выражением, полученным в работе [1] для случая просветления поглощающей подложки однослойным покрытием с толщиной его слоя, близкой по величине к $3/4$ длины волны в веществе покрытия.

На рис. 2 даны зависимости между величиной относительной полосы просветления и выбранными значениями коэффициентов преломления подложки и дополнительного просветляющего покрытия при заданном коэффициенте преломления основного покрытия и толщине слоя основного и дополнительного покрытий близкой или равной, соответственно, 0,5 и 0,25 длины волны в веществе этих слоев. Использование толщины покрытий с большей величиной кратности длины волны не имеет смысла, так как при этом резко уменьшается полоса просветления.

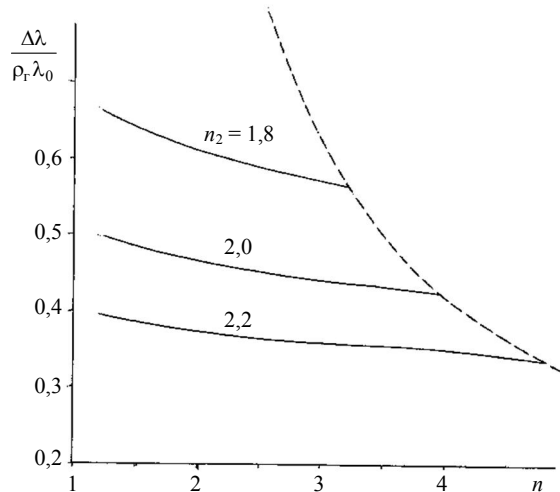


Рис. 2. Зависимости между величиной относительной полосы просветления $\Delta\lambda/\lambda_0\rho_1$ и выбранными значениями коэффициента преломления волны n поглощающей подложки. Штриховая кривая — предельная величина относительной полосы просветления при $n_1 = n_2$

В качестве примера использования двойного просветления поглощающей подложки рассмотрена задача просветления фотоприемника, в котором

подложкой является кремний, а покрытием — диоксид кремния. В оптическом диапазоне волн коэффициент преломления диоксида кремния равен 1,46, а зависимость χ от n кремния описывается кривой, приведенной на рис. 1 в координатной плоскости $[n, \chi]$. При таком соотношении оптических параметров подложки и покрытия невозможно обеспечить условия полного гашения оптического излучения изменением толщины слоя покрытия. Однако просветление достижимо, если наряду с основным покрытием (диоксид кремния) использовать второе, дополнительное просветляющее покрытие, имеющее четвертьволновую толщину. При этом вещество второго покрытия должно иметь коэффициент преломления по величине, лежащий между коэффициентами преломления подложки и основного покрытия. В качестве такого дополнительного покрытия могло бы быть применено четвертьволновое покрытие из оксида титана, технология нанесения которого и подбор величины его n описаны в работе [3].

Заключение

Проведенные исследования и расчеты позволяют найти условия и частотную полосу полного (безотражательного) поглощения электромагнитного излучения в плоском слое поглощающего диэлектрика при нанесении на него двух просветляющих и непоглощающих покрытий, одно из которых имеет четвертьволновую толщину.

Литература

1. Каджар Ч. О., Касимов Р. М., Касимова С. Р. // Прикладная физика. 2000. № 4. С. 101.
2. Ван де Виле Ф. Просветляющие пленки и многослойные структуры // Сб. Полупроводниковые формирователи сигналов изображения. — М.: Мир, 1979.
3. Лукомский Д. В., Авдеев А. Н., Ленков С. В. Управление технологическим процессом формирования антиотражающего покрытия фотозлектрических преобразователей наземного применения // Материалы конференции "Современные информационные и электронные технологии". — Одесса, 2004.
4. Касимов Э. Р., Садыгов М. А., Касимов Р. М., Каджар Ч. О. // Инженерно-физический журнал. 1999. Т. 72. № 4. С. 737.

Two-layer blooming the absorbing substrate

E. G. Ismibeli, S. R. Kasimova
Institute of Chemical Problems
29 Djavid av., Baku, AZ1143, Azerbaijan
E-mail: chem@science.az

A frequency strip of complete (reflectionless) absorption of electromagnetic radiation is found for a flat layer of an absorbing dielectric.

PACS: 41.20.-q

Keywords: blooming, substrate, absorption, frequency strip, coating.

Bibliography — 4 references.

Received August 19, 2011