

К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ ВТОРИЧНОЙ СТРУКТУРЫ НА РАССЕИВАЮЩИЕ СВОЙСТВА МАТОВЫХ СТЕКЛЯННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Г. М. Городинский и А. Н. Шестов

Рассмотрено влияние первичной и вторичной структур матового слоя на рассеивающие свойства матовых стекол. Для этой цели на двух гониофотометрических установках в области спектра 0.4—2.6 мкм измерены индикатрисы яркости двух матированных образцов, изготовленных из оптического стекла К8 и ТФ2, отличающихся по микротвердости примерно в 1.6 раза. Монохроматизация света осуществлялась с помощью интерференционных светофильтров. Выяснено, что с увеличением длины волны угол половинной яркости индикатрис, измеренных в проходящем свете, уменьшается и затем почти совпадает с индикатрисой яркости источника. Полученным результатам дано объяснение с точки зрения рассеяния света на вторичной структуре матового слоя. Сделан вывод о возможности использования индикатрис яркости, измеренных в монохроматическом свете, для исследования и количественной оценки вторичной структуры шероховатой поверхности стекла.

1. Целью работы явилось выяснение влияния структуры матового слоя на характер рассеяния света матовыми стеклянными поверхностями в проходящем свете. Для этого изучались индикатрисы яркости в монохроматическом свете в спектральном интервале от 0.4 до 2.6 мкм. Имеющаяся в литературе информация охватывает лишь видимую область спектра. Кривые распределения яркости или силы света в белом свете измерены с помощью гониофотометров, снабженных светоприемниками с различными кривыми спектральной чувствительности [1-3].

2. Индикатрисы яркости измерялись с помощью двух гониофотометрических установок одинакового принципа действия, схема одной приведена в работе [4], второй — на рис. 1. Первая позволяет производить измерения в области спектра 0.4—1.0 мкм при использовании фотоумножителей ФЭУ-17 и ФЭУ-22. Вторая установка (рис. 1) содержит осветительное и приемное устройства и блок контрольно-измерительной аппаратуры. Оптические детали изготовлены из флюорита. Апертурные углы освещения и наблюдения составляют $2u = 1.5^\circ$ и $2u' = 0.5^\circ$. Регистрация лучистых потоков производится полупроводниковым болометром БСГ-2 (интегральная чувствительность 840 в/вт, пороговая чувствительность $4.8 \cdot 10^{-10}$ вт/гц, размер приемной площадки 2.5×0.5 мм), источником света служит ленточная лампа с сапфировым окном. Сигнал от болометра после предварительного усиления подается на усилитель оптико-акустического прибора ОАП-3. Запись индикатрис яркости производится на диаграммной бумаге самописца ЭПП-09 синхронно с вращением приемного устройства в масштабе: 1° соответствует 4 мм перемещения ленты. Дисковый модулятор обеспечивает частоту в 8.9 гц. Для монохроматизации используются 4 интерференционных светофильтра: $\lambda_1 = 401$ нм ($\delta_{0.5} = 18$ нм, $T_{\max} = 34\%$), $\lambda_2 = 800$ нм ($\delta_{0.5} = 12$ нм, $T_{\max} = 26\%$), $\lambda_3 = 1.28$ мкм ($\delta_{0.5} = 60$ нм, $T_{\max} = 44\%$), $\lambda_4 = 2.63$ мкм ($\delta_{0.5} = 190$ нм, $T_{\max} = 66\%$). С помощью рассмотренной установки фотометрировались два матированных электрокорундом М28 по одному и тому же технологическому процессу образца, изготовленных из стекла марок К8 и ТФ2, именуемых далее К8М28 и ТФ2М28. Микротвер-

дость стекол, измеренная с помощью микротвердомера ПМТ-3, равнялась соответственно 750 и 480 кг/мм², а шероховатость, выраженная высотой неровностей R_z , составляла 2.4 и 2.9 мкм. Значения R_z определялись стандартным профилографом завода «Калибр». Спектральные кривые коэффициента пропускания полированных стекол $\tau_\lambda = f(\lambda)$, идентичных исследованным матовым образцам, записывались с помощью инфракрасного спектрометра ИКС-14. Для $\lambda_2 = 1.28$ мкм и $\lambda_4 = 2.63$ мкм $\tau_\lambda \geq 80\%$. Индикатрисы яркости измерялись при нормальном падении света на полированную поверхность образцов. Кривые строились в относительных едини-

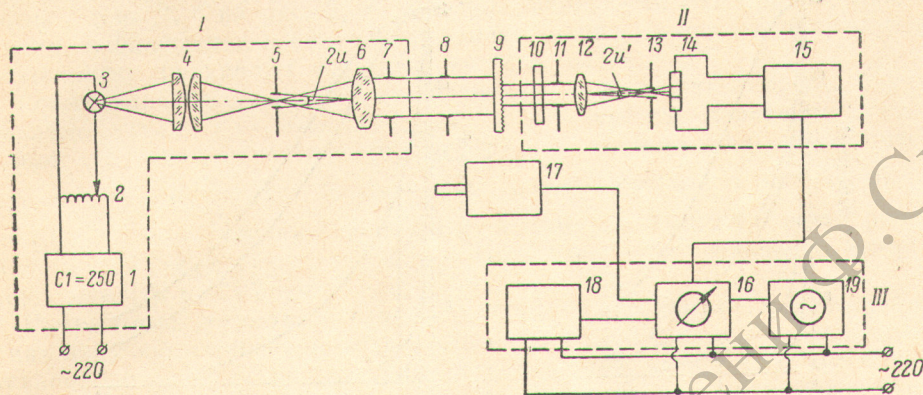


Рис. 1. Схема гониофотометрической установки

I — осветительное устройство, II — приемное устройство, III — контрольно-измерительная аппаратура. 1 — стабилизатор напряжения, 2 — лабораторный автотрансформатор, 3 — ленточная лампа, 4 — конденсор, 5 — диафрагма, 6 — объектив, 7 — диафрагма, 8 — диск модулятора, 9 — образец, 10 — интерференционный светофильтр, 11 — ирисовая диафрагма, 12 — дополнительный объектив, 13 — болометр БСГ-2, 14 — предусилитель, 15 — основной усилитель со стрелочным индикатором, 17 — привод модулятора с выпрямителем, 18 — самописец ЭПП-09, 19 — контрольный осциллограф.

цах и характеризовались углом половинной яркости γ , т. е. углом между нормалью к поверхности и направлением, в котором яркость равна половине ее значения по нормали. Значения γ сведены в таблицу.

Значения углов половинной яркости γ (в градусах)

Название образца	$\lambda_1 = 0.4$ мкм	$\lambda_2 = 0.8$ мкм	$\lambda_3 = 1.28$ мкм	$\lambda_4 = 2.63$ мкм
Б8М28	5.9	1.9	0.6	0.3
ТФ2М28	9.3	7.3	1.9	0.3

3. Из кривых рис. 2 и табличных данных видно, что с увеличением длины волны угловые размеры индикатрис уменьшаются. Для $\lambda_4 = 2.63$ мкм индикатриса яркости почти совпадает с кривой II, характеризующей спектральную яркость ленточной лампы и рассеивающие свойства оптики гониофотометра. Назовем эту кривую индикатрисой яркости источника света. Различие имеет место в области «крыльев». Последнее можно объяснить попаданием в апертуру приемного устройства лучей, претерпевших многократное или внутреннее отражение на микрограницах и тыльной полированной поверхности образцов. Установить длину волны, для которой наступает совпадение этих кривых на рассмотренной ранее установке, невозможно вследствие дискретности изменения спектральных интервалов.

Уменьшение углов γ с увеличением длины волны можно объяснить явлением рассеяния, происходящим на первичной и вторичной структурах

матового слоя. Рассеяние, обусловленное трещиноватым слоем, слишком мало и в данном случае не может сказаться на результатах измерений.

Первичная структура хорошо изучена, в ряде работ выяснена ее природа [5, 6]. Основными параметрами оценки ее микрогеометрии являются: высота неровностей R_z или среднее арифметическое отклонение профиля R_a (ГОСТ 2789-59), которые можно легко численно определить, например с помощью профилографов, интерференционных и двойных микроскопов. Также известно, что угол α при вершине бугорков и впадин шлифованной

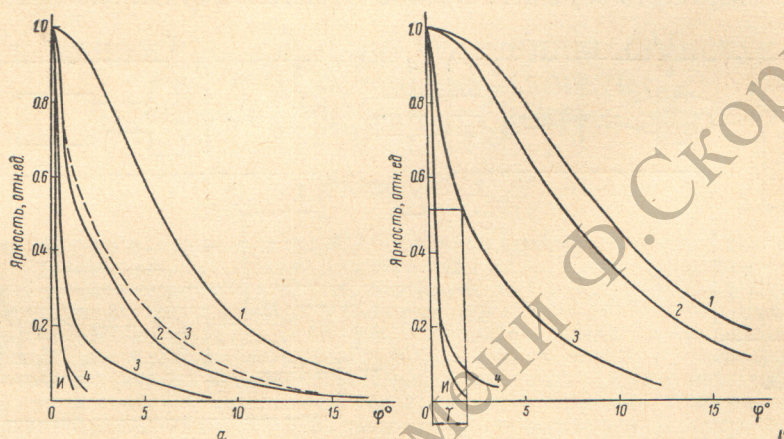


Рис. 2. Индикатрисы яркости образцов для четырех длин волн.

Слева а — образец К8 М28, справа б — образец ТФ2 М28. 1 — для $\lambda_1 = 0.4$ мкм, 2 — для $\lambda_2 = 0.8$ мкм, 3 — для $\lambda_3 = 1.28$ мкм, 4 — для $\lambda_4 = 2.63$ мкм. II — индикатриса яркости источника света для $\lambda_1 = 2.63$ мкм. На рис. 2, а штрихами показана кривая 3 образца ТФ2М28.

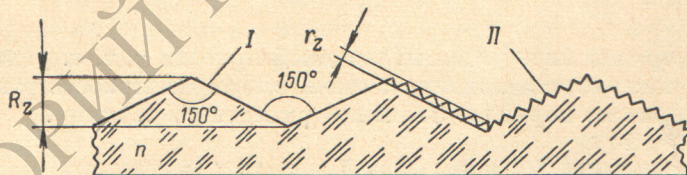


Рис. 3. Схема строения первичной и вторичной структур матового слоя.

I — первичная структура, II — вторичная структура.

стеклянной поверхности не зависит от размеров зерен абразивов и составляет примерно $150\text{--}153^\circ$ [5]. Значение угла несколько зависит от химического состава и возрастает с понижением механических свойств стекла [6].

Под вторичной структурой мы понимаем супермикрогеометрию первичной структуры (рис. 3). Заметим, что ее природа не изучена и численное значение высоты неровностей $r_z \ll R_z$ невозможно определить с помощью существующих приборов для измерения шероховатости поверхности. Например, стандартные профилографы снабжаются алмазными иглами с радиусами закругления 2 и 10 мкм, не проникающими в углубления супермикрогеометрии.

Данные рис. 2 свидетельствуют, что при $\lambda = 2.63$ мкм исследованные матовые стекла незначительно рассеивают свет. Из этого следует, что эффективно действующие неровности должны иметь размеры значительно меньшие, чем 2.63 мкм. Однако измеренные высоты неровностей, характеризующие первичную структуру обоих образцов, соответственно равны

2.4 и 2.9 мкм. Очевидно, что за наблюдаемое рассеяние значительно более ответственна вторичная структура.

Предположим, что высота неровностей вторичной структуры $r_z < \lambda$ в видимой области спектра. Тогда вследствие дифракции света с увеличением λ будет увеличиваться направленная компонента, т. е. свет, рассеянный матовым слоем, станет более когерентным.

Рассматриваемые результаты позволяют сделать некоторые количественные сопоставления. Обратимся, например, к индикатрисам яркости образца К8М28 для $\lambda_2 = 0.8$ мкм и образца ТФ2М28 для $\lambda_3 = 1.28$ мкм (перенесена с рис. 2, б на рис. 2, а, показана штрихами). Эти кривые весьма близки, наблюдаемое небольшое различие можно приписать некоторому расхождению первичных структур матовых слоев.

Естественно предположить, что названные индикатрисы яркости будут совпадать, если $r'_z/\lambda_2 = r''_z/\lambda_3$, где r'_z и r''_z — высоты неровностей вторичной структуры первого и второго образцов. Из этой зависимости вытекает, что $r''_z = r'_z \frac{\lambda_3}{\lambda_2}$. Для марок стекла, использованных в нашей работе $r''_z = 1.6 r'_z$, т. е. вторичная структура стекла марки ТФ2 в 1.6 раза грубее аналогичной структуры стекла марки К8. Заметим, что отношение микротвердостей К8 и ТФ2 составляет 1.56.

Полученные результаты свидетельствуют о невозможности интерпретации полученных экспериментальных результатов без привлечения представлений о супермикрогеометрии матового слоя. Они также позволяют использовать индикатрисы яркости, измеренные в монохроматическом свете для исследования и количественной оценки вторичной структуры матовых стеклянных поверхностей.

Литература

- [1] А. А. Гершун. Избранные труды по фотометрии и светотехнике. ГИФМЛ, М., 1958.
- [2] Г. М. Городинский, Л. А. Михайловская. Опт.-мех. пром., № 10, 12, 1959.
- [3] Г. М. Городинский. Опт.-мех. пром., № 9, 7, 1963.
- [4] Г. М. Городинский, Н. А. Закорина. Опт.-мех. пром., № 7, 35, 1961.
- [5] Н. И. Поляков. Канд. дисс., Л., 1940.
- [6] В. М. Винокуров, А. Л. Ардамацкий, Л. В. Попов. Структура разрушенного слоя. Сб. «Формообразование оптических поверхностей». Оборонгиз, 1962.

Поступило в Редакцию 20 февраля 1970 г.