ПОЛЯРИЗАТОРЫ PROFLUX КОМПАНИИ MOXTEK:
ПРЕИМУЩЕСТВА В ДИАПАЗОНЕ ОТ УФ- ДО БЛИЖНЕЙ ИК-ОБЛАСТИ

К.Швырков, ООО "Евротек Дженерал",
kirill_s@eurotek-g.com

Поляризаторы широко используются в различных областях науки и техники, например, при изучении распределения механических напряжений в прозрачных объектах с помощью поляризованного света, при исследовании структуры органических веществ, в сахариметрии и в особенности в кристаллооптике, астрономии, а также фотографии. Поляризаторы UVD260 и UVD240 серии Proflux производства компании Moxtek, изготовленные по технологии nanowire, выгодно отличаются от традиционных призменных поляризаторов Глана-Тейлора и Глана-Томпсона, применяемых в спектроскопии. Благодаря преимуществам и особенностям конструкции удалось достичь высокой эффективности работы в широком спектральном диапазоне от УФ до ИК.

Рабочий диапазон длин волн поляризаторов серии Proflux начинается в дальней УФ-области от 240 нм и заканчивается ближним ИК-диапазоном с предельной длиной волны 3,3 мкм. Для производства поляризаторов серии Proflux компания Moxtek использует технологию nanowire ("нанонить"), которая на сегодняшний день позволяет изготавливать поляризаторы с самым малым периодом структуры. Поляризатор состоит из тонких (толщиной несколько десятков нанометров) алюминиевых полосок, нанесенных параллельно друг другу на кварцевую пластину (рис.1). Неполяризованный свет, попадая на такой поляризатор, разделяется на две составляющих: одна, в которой колебания светового вектора направлены перпендикулярно плоскости падения, проходит через пластину, а вторая, с колебаниями в плоскости падения, отражается, как от металлического зеркала. Преимущества такой конструкции поляризатора следующие: компактность; высокая эффективность работы при падении излучения под разными углами;

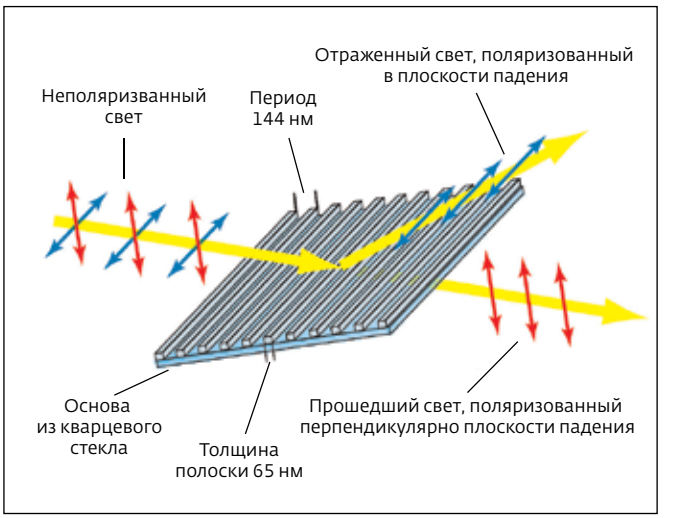

Рис.1. Поляризатор серии ProFlux

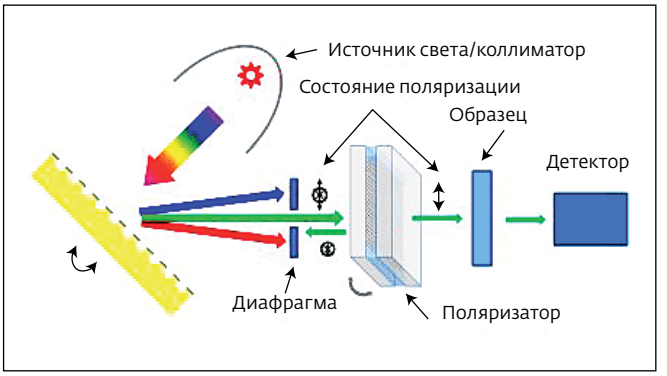

Рис.2. Упрощенная оптическая схема спектрофотометра

незначительное изменение КПД поляризатора при варьировании длины волны падающего излучения; отсутствие искажений, которые возникают у призм Глана–Тейлора и Глана–Томпсона в коротковолновой ИК-области спектра. Еще одно важное преимущество связано с тем, что достаточно малая доля излучения поглощается, поэтому мощное излучение не приведет к быстрому разрушению такого поляризатора.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ПОЛЯРИЗАТОРОВ В УФ-ДИАПАЗОНЕ

На рис.2 изображена упрощенная оптическая схема спектрофотометра, в котором используется поляризатор. Она наиболее эффективна, когда проводятся испытания кристаллов, обладающих свойствами дихроизма или двулучепреломления, дифракционных решеток, или отражательной способности образцов.

Обычно в конструкции спектрофотометра используют призмы Глана–Тейлора (ГТ) или Глана–Томпсона (ГТм), которые изготавливают из кальцита (исландского шпата). К сожалению, свойственное кальциту поглощение и рассеивание излучения на примесях оказывают значительное влияние на коэффициент пропускания излучения в УФ-диапазоне и, соответственно, на соотношение сигнал/шум. УФ-поляризаторы серии Proflux производства компании Moxtek демонстрируют более высокое соотношение сигнал/шум в области дальнего ультрафиолета. На рис.3а изображены графики зависимости коэффициента пропускания от длины волны падающего излучения для поляризаторов ГТм и UVD260, когда плоскость поляризации падающего излучения и плоскость пропускания поляризаторов совпадают, а на рис.3б приведены аналогичные данные с разницей в том, что плоскость поляризации падающего света перпендикулярна плоскости пропускания поляризаторов. Видно, что, в отличие от поляризатора UVD260, поляризатор Глана–Томпсона обладает практически нулевым светопропусканием в области глубокого ультрафиолета.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ ПОЛЯРИЗАТОРОВ В ИК-ДИАПАЗОНЕ

Поляризаторы Глана–Тейлора и Глана–Томпсона состоят из двух двулучепреломляющих треугольных призм, обращенных друг к другу гипотенузными гранями, которые разделены воздушным промежутком (ГТ) или клеем (ГТм).

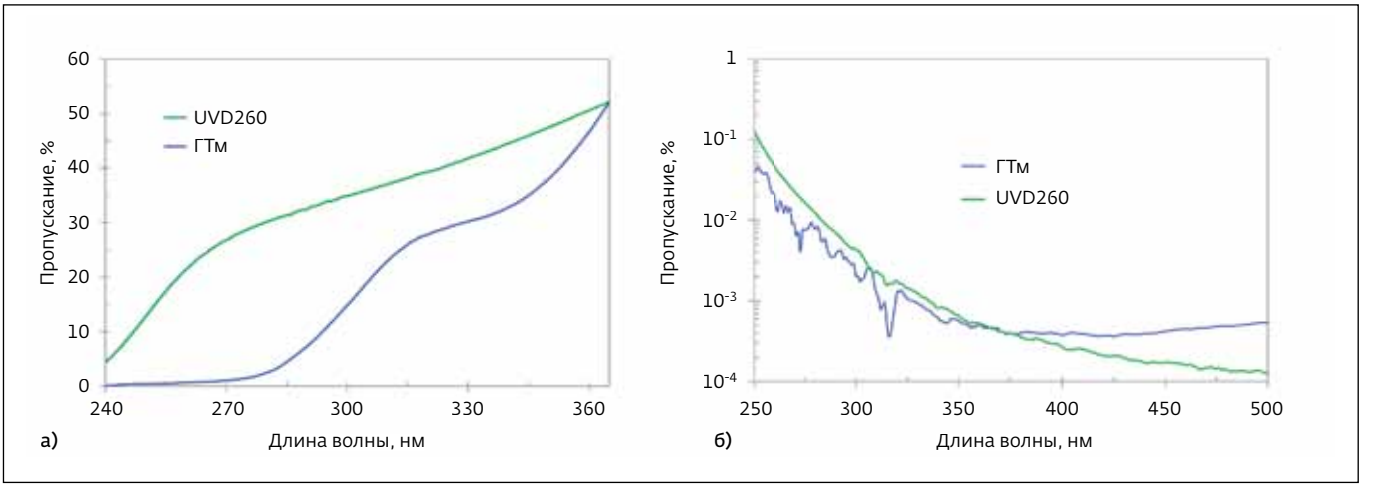

Рис.3. Зависимость коэффициента пропускания поляризаторов UVD260 серии Proflux и Глана–Томпсона от длины волны: а) плоскость поляризации падающего излучения совпадает с плоскостью пропускания поляризаторов; б) плоскость поляризации падающего света перпендикулярна плоскости пропускания поляризаторов

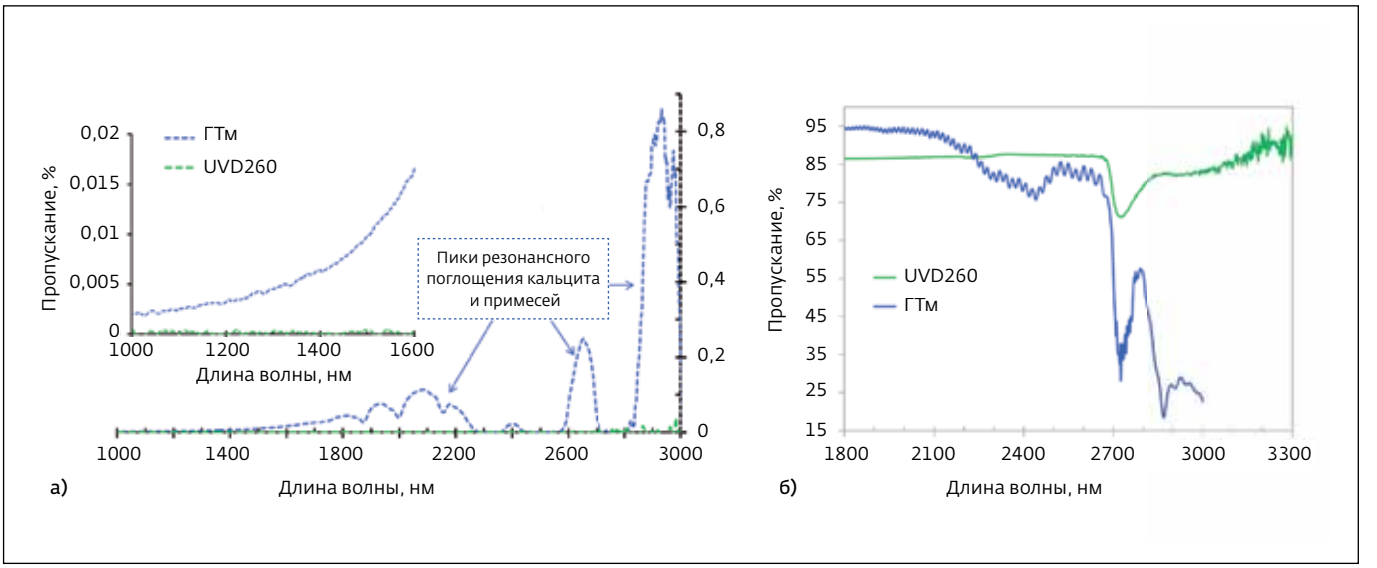

Рис.4. Зависимость коэффициента пропускания поляризаторов UVD260 серии Proflux и Глана–Томпсона от длины волны: а) плоскость поляризации падающего света перпендикулярна плоскости пропускания поляризаторов, на переднем плане график с более широким диапазоном длин волн, на котором хорошо видны резонансные пики абсорбции; б) плоскость поляризации падающего излучения совпадает с плоскостью пропускания поляризаторов

Разделение падающего луча на два с взаимно ортогональными плоскостями поляризации основывается на полном внутреннем отражении обыкновенного луча и прохождении необыкновенного (рабочего) луча. Этот процесс накладывает строгие требования на параллельность пучка и угол падения излучения. Уменьшение показателя преломления в ИК-диапазоне приводит к снижению допустимого отклонения от нормали падающего излучения для поляризаторов ГТ и ГТм. Вследствие этого в спектроскопии, где параллельность падающего пучка не всегда идеальна, возрастает доля прошедшего излучения с нежелательной поляризацией.

В то время как для эффективной работы поляризаторов ГТ и ГТм требуется, чтобы излучение падало с отклонением от нормали максимум в несколько градусов, поляризаторы Moxtek имеют высокий КПД при различных углах падения излучения в широком диапазоне ИК-волн, при этом доля прошедшего излучения с нежелательной поляризацией остается очень низкой. Благодаря технологии изготовления Proflux UVD-поляризаторы Moxtek могут успешно использоваться, когда падающее излучение отклоняется от нормали на ±20°. Эта особенность позволяет применять UVD-поляризаторы для приложений, где излучение является слабоколлимированным или где невозможна интеграция дополнительных оптических элементов для точной коллимации.

На рис.4 представлены графики, отражающие существенную разницу в эффективности светопропускания между стандартным ГТм-поляризатором и UVD260 в ИК-диапазоне. Анализ графика (рис.4а) позволяет сделать вывод о том, что в состоянии, когда угол между плоскостями поляризации падающего света и пропускания поляризаторов равен 90 градусам, ГТм-поляризаторы попускают излучение с нежелательной поляризацией, в то время как интенсивность прошедшего излучения сквозь UVD-260 стремится к нулю. Кроме того, на длинноволновом краю спектра для ГТм-поляризатора видны пики, вероятно, связанные с резонансным поглощением ИК-излучения на кальците и примесях. Соотношения Крамерса-Кронига показывают, что любое резонансное поглощение сопровождается также изменением показателя преломления, вследствие чего изменяется допустимый угол падения излучения на поляризатор. При тестировании UVD-поляризатора никаких возмущений в ИК-области не выявлено.

На рис.4б показаны результаты измерений, когда плоскости поляризации падающего излучения и пропускания поляризаторов совпадают. Уменьшение светопропускания в ИК-области у ГТм-поляризатора связано с теми же эффектами, что были описаны выше. Поглощение на длине

волны 2725 нм у гигроскопичного кальцита, из которого изготавливают ГТм-поляризаторы, намного больше, чем у поляризатора UVD260, который состоит из тонких (порядка нескольких десятков нанометров) алюминиевых полос, нанесенных на кварцевое стекло. Таким образом, коэффициент пропускания и соотношение сигнал/шум у UVD-поляризаторов в ИК-области намного выше, чем у ГТм-поляризаторов.

На рис.5 для поляризаторов ГТм и UVD260 изображены кривые зависимости контраста от длины волны. Контрастом условно назвали отношение коэффициента пропускания излучения, когда плоскости поляризации падающего излучения и пропускания поляризаторов совпадают, к коэффициенту пропускания, когда плоскости перпендикулярны. Видно, что UVD-поляризаторы эффективно работают в широком ИК-диапазоне, чего нельзя сказать о призменных поляризаторах.

ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ УСЛОВИЙ И КОНСТРУКЦИИ ПОЛЯРИЗАТОРОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ

Для изготовления поляризаторов серии UVD260 используются материалы, аналогичные материалам стандартных поляризаторов Moxtek для видимого спектра, которые эффективно работают при высоких температурах и влажности. Такие условия часто встречаются в проекционных системах отображения информации. Кроме того, надежная и экологически безопасная конструкция UVD-поляризаторов позволяет предотвратить случайные повреждения, а также загрязнение окружающей среды. КПД ГТм-поляризаторов в ИК-области со временем может ухудшаться вследствие поглощения влаги кальцитом, в то время как UVD-поляризаторы лишены этого недостатка, так как их подложка изготавливается из негигроскопического кварцевого стекла.

Размеры поляризаторов ГТ и ГТм ограничивают апертуру из-за строгих требований к углу падения излучения. Есть сложности, связанные с принципом работы, который основан на полном внутреннем отражении обыкновенного луча. Если размер апертуры увеличивается, необходимо увеличивать и размеры самой призмы, что не всегда приемлемо, так как из-за этого может понадобиться реконструкция оптической системы. UVD-поляризаторы лишены этого недостатка. Обычно они имеют фиксированную толщину (2,1 мм), которая фактически определяется толщиной подложки. Таким образом, объем пространства, который необходим для распространения луча в оптической схеме с UVD-поляризатором, остается неизменным вне зависимости от размера апертуры поляризатора. Для ГТ и ГТм-поляризаторов при увеличении апертуры размеры призм также увеличиваются, что приводит к снижению эффективности работы поляризатора в УФ- и коротковолновой ИК-области спектра вследствие эффектов поглощения и рассеяния. UVD-поляризаторы серии ProFlux способны охватывать весь спектральный диапазон большинства спектрометров: от глубокого УФ до коротковолнового ИК. Эффективность их работы высока при более широком допустимом интервале угла падения излучения, что позволяет обходиться без изменений размеров источника света.

В конструкции ГТ- и ГТм-поляризаторов боковая поверхность призмы должна иметь поглощающее покрытие (для поглощения обыкновенного луча). Однако часть излучения все же отражается, что приводит к прохождению света с нежелательной поляризацией. В UVD-поляризаторах ProFlux эффекты двулучепреломления и полного внутреннего отражения отсутствуют. В этих оптических устройствах падающий луч разделяется на самой периоди-

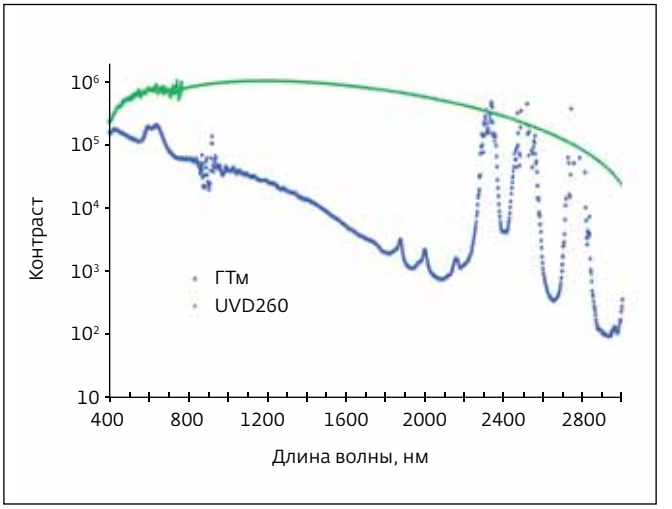

Рис.5. Зависимость контраста от длины волны для поляризаторов ГТм и Proflux UVD260. Контраст – отношение коэффициента пропускания излучения, когда плоскости поляризации падающего излучения и пропускания поляризаторов совпадают, к коэффициенту пропускания, когда плоскости перпендикулярны

Сравнение характеристик поляризаторов UVD и ГТ/ГТм

Характеристика	ProFlux UVD260	ProFlux UVD240	Поляризатор Глана–Тейлора / Глана–Томпсона
Допустимый угол падения излучения	±20°		±4°/±6°
Толщина структуры	2,1 мм (независимо от апертуры)	Зависит от апертуры	Эмиссия
Искажения в ИК-области	Отсутствуют		Существуют (вследствие влияния рассеяния и поглощения)
Френелевские искажения	Отсутствуют		Требуется качественное поглощающее покрытие/корпус
Рабочий диапазон длин волн	260–3300 нм	240–3300 нм	Для эффективной работы на всем рабочем диапазоне спектра требуется использовать два поляризатора

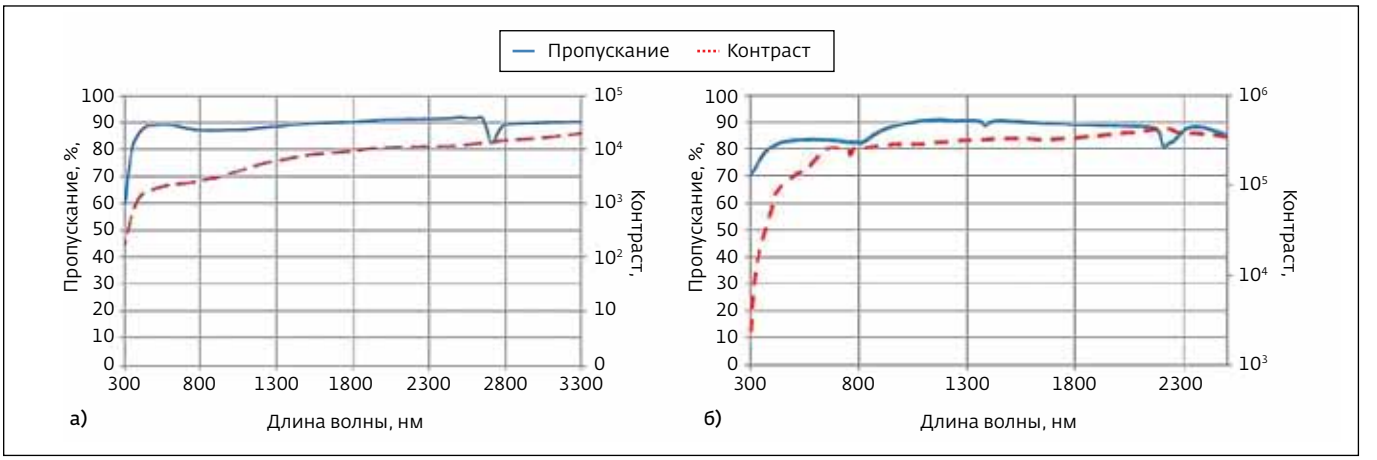

Рис.6. Зависимость коэффициента пропускания излучения от длины волны, когда плоскости поляризации падающего излучения и пропускания поляризаторов совпадают, а также зависимость контраста от длины волны для поляризаторов Proflux UVD260 (а) и Proflux UVD240 (б)

ческой структуре на два, один из которых проходит сквозь структуру, другой – отражается. Таким образом, оптический путь в структуре намного сокращается, кроме того, не требуется решать проблему качества покрытия боковой поверхности, как для поляризаторов ГТ.

Проведем краткое сравнение ключевых характеристик поляризаторов UVD и ГТ (см. таблицу).

ВЫВОДЫ

В сравнении с поляризаторами Глана-Тейлора и Глана-Томпсона, UVD-поляризаторы серии ProFlux эффективно работают на всем рабочем диапазоне длин волн в спектрометрии, где качество поляризации очень важно. На рис.6 изображены графики, описывающие характеристики пропускания и степень поляризации излучения поляризаторами UVD260 и UVD240 серии ProFlux. Высокие коэффициент пропускания и степень поляризации света и одновременная эффективность работы в УФ-, видимой и ИК-областях спектра в UVD-поляризаторах достигнуты путем разработки инновационной технологии нанесения субволновой периодической структуры алюминиевых полос (технология nanowire) на кварцевую подложку. Широкий диапазон допустимого угла падения излучения, а также высокая компактность поляризаторов Moxtek позволяют эффективно использовать рабочее пространство оптической системы.

По материалам компании Moxtek,
vmahidov@moxtek.com