

ПОЛЯРОИД И ЕГО ТЕХНИЧЕСКИЕ ПРИМЕНЕНИЯ

*А. Поллард**

В 1828 г. оптическая анизотропия исландского шпата была использована Виллиамом Николем как продуктивное средство для получения линейнополяризованного луча* света. Однако рабочее отверстие призмы Николя ограничено размерами оптически совершенных кристаллов шпата, и наибольшая осуществленная призма имеет отверстие, приблизительно равное 10 см. Обычно николь бывает много меньше этого, и даже умеренной величины оптически совершенных кристаллов шпата становится мало.

Начиная с Фуко, в 1857 г. целый ряд исследователей — Дове, Гартнак, Празмуский, Жамен, Глан, Фейснер, Ценкер, Аббе, Арес, С. Томпсон и др. — сконструировал различные призмы с приспособлениями, увеличивающими отверстие и экономящими драгоценный шпат.

До сих пор еще не было изобретено ничего, равного николю в отношении прозрачности и полноты поляризации проходящего света, но когда требуются большие отверстия, остается только одно — использовать отражающие поляризаторы, образующие частично поляризованный пучок с большой потерей света. Недавняя работа Э. Ланда, использующая дихроические свойства определенных веществ, дает простое приспособление для фильтрации из естественного света компоненты с высоким процентом линейной поляризации и притом с сечением пучка любой величины.

Чтобы полностью понять изобретение Ланда, нужно вспомнить, что оптическая анизотропия может проявиться в виде двойного преломления, причем обыкновенный и необыкновенный лучи проходят с разным поглощением, и разница коэффициентов поглощения может быть названа истинным дихроизмом.

Уменьшение интенсивности света при прохождении через оптически анизотропную пластинку может произойти частично вследствие рассеяния и частично вследствие поглощения. Разница коэффициентов рассеяния называется дитиндализмом и вместе с собственно дихроизмом составляет полный дихроизм. В большинстве кристаллических веществ дитиндализм незначителен, но в коллоидальных анизотропных системах он может быть существенен.

* Nature, Aug. 22, 1936, p. 311.

Абсорбция зависит не только от толщины пластинки, но также и от длины волны, и поэтому почти во всех дихроических кристаллах проходящий свет окрашивается. Выдающимся и историческим примером дихроического одноосного кристалла, в котором проходящий свет резко поляризуется, является турмалин. В некоторых турмалинах обыкновенный луч полностью поглощается, а необыкновенный луч, колеблющийся в плоскости, параллельной тригональной оси, проходит, к сожалению, с таким большим поглощением, что турмалины, наилучшим образом поляризующие, становятся бесполезными при слабом освещении.

В 1851 г. д-р Виллиам Берд Герапат¹ открыл замечательное соединение иода и хининсульфата — иодосульфат хинина. $4\text{Qu} \cdot 3\text{H}_2\text{SO}_4 \cdot 2\text{HJ} \cdot \text{J}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, который в свое время вызвал большой интерес, был назван впоследствии Гайдингером герапатитом. Позже он нашел подобное дихроическое соединение стрихнина.

Двупреломляющий герапатит может быть кристаллизован в мельчайших гексагональных пластинках, причем каждая пластинка толщиной в 0,01 см полностью поглощает один из лучей, а другому позволяет пройти с едва заметным поглощением. Большие кристаллы герапатита не могут быть получены, тем не менее д-р Герапат получил некоторые из них настолько большими, что они могли быть использованы Бэлем в качестве поляризаторов в микроскопе². Эти кристаллы были использованы для микроскопа очень скоро после их открытия, но на их постоянство нельзя положиться³. Если подвергнуть кристалл действию воздуха или поместить в канадский балзам, растворенный в ксилоле, то иод исчезает, и кристалл теряет свои поляризующие свойства. Они могут быть, однако, сохранены в канадском балземе, растворенном в эфире.

Мне удалось получить такие кристаллы в 2—3 мм в диаметре, но они не были плоскими и в то же время были слишком хрупкими, чтобы можно было из них сделать плоские пластинки.

Открытие Герапата казалось забытым до тех пор, пока Ланду не удалось получить тонких листочков нитроцеллюлозы, включающих ультрамикроскопические кристаллы герапатита, оптические оси которых параллельны друг другу. Каждый листочек ведет себя как один вытянутый кристалл с той разницей, что вследствие перекрывания кристаллическими частицами друг друга в направлении толщины пленки проходящий луч поглощается больше, чем это было бы в монокристалле, и листочек приобретает дымчато-коричневую окраску.

В своей патентной заявке⁴ Ланд описывает процесс, при помощи которого могут быть получены эти листочки. Одним способом является приготовление массы, подобной желе, содержащей герапатит, хорошо смешанный с вязкой нитроцеллюлозой или раствором ацетата целлюлозы. Так как частицы асимметричны, то они будут сами ориентироваться в одном определенном направлении, когда вязкая масса вытягивается через щелевидную решетку. Но задержанный поток внешних частей материала во время прохожде-

ния через решетку вызовет поверхностный срез, совершенно изменяющий правильное расположение кристаллов. Чтобы обойти эту трудность, перед пропусканием через решетку слой заряженной массы располагается между двумя слоями незаряженной. Тогда срединный заряженный слой течет через поперечное сечение со скоростью, практически равномерной, и частицы равномерно распределяются параллельно одна другой.

Другой метод заключается в том, чтобы расположить вязкое поляризующее вещество на подложке из вязкого неполяризующего вещества такого, как жидкий целлулоид или другой бесцветный маслянистый эфир, размазанный по стеклянной пластинке, таким образом, чтобы растянуть поляризующую среду. Ориентацию частиц можно, таким образом, осуществить, подвергая разведенную коллоидальную суспензию действию электрического или магнитного поля.

Именно подобными, описанными Ландом способами Поляроидной корпорации в Бостоне (Polaroid Corporation of Boston) США удалось сделать „Поляроид“ — листочки поляризующего материала, появившиеся теперь на рынке. Другие фирмы обеспечили себе право применения этого материала в специальных приборах. Так, одна фирма поставляет поляроидные анализаторы и поляризаторы для микроскопов, для проекционных фонарей и других приборов. Другая фирма использует поляроид для офтальмологических инструментов. Компания Истмен-Кодак использует этот материал для фотографических целей под торговой маркой „Pola Screen“.

В настоящее время имеются два вида „Pola Screen“ — тип I и тип II. Тип I состоит из листов этого материала, вклеенных между стеклянными пластинками сорта А или В, и предназначен для употребления перед объективом фотокамеры. Стеклянные пластинки сорта А являются оптически плоскими со шлифовкой высшего качества; пластины В также являются оптическими стеклами хорошего качества, не изменяющими степени отчетливости. Пластинки вделаны в круглый ободок из легкого металла с отверстием до 12 см. Такие же экраны с бакелитовыми ободками поставляет в Великобритании Polarizers Ltd. Тип II предназначен для употребления с источниками света и состоит из поляроидного листочка, приклеенного к одной стеклянной пластинке. В этом виде поляризатор слегка рассеивает падающий свет, но он может быть изготовлен в размерах до 75 см². Степень поляризации одной пластинкой поляроида и прозрачность для обыкновенного света двух параллельных или скрещенных пластинок, так же как через две параллельных или скрещенных пленки, определены Ингерзолем Уайнансом и Краузе⁵ для длины волн от 40 000 до 20 000 Å и Стронгом⁵ — для длин волн от 3000 до 11000 Å.

Так как поведение этого нового материала не может быть оценено без знания результатов подобных измерений, то следующая таблица дает средние значения, взятые из кривых, полученных этими авторами. Они, повидимому, различны для разных образцов.

Дихроические свойства материала могут быть отчетливо видны при малом проценте поляризованного света в фиолетовом и красном концах спектра в противоположность средней части спектра, где абсорбция луча с одним направлением поляризации почти пол-

ТАБЛИЦА 1

	% поляризации	Процент прохождения			
		пленки		пластинки	
		паралл.	скрещ.	паралл.	скрещ.
3000	—	0	0	0	0
4000	70	1,5	0	22	5
4500	70	12	0,5	28	4
5000	95	13	0	32	3
5500	98	15	0	33	2,5
6000	98	16	0	33	2,5
6500	96	25	0	33	2,5
7000	91	34	2,5	32	2
8000	32	63	62	28	5
9000	9	77	77	37	29
1	5	85	85	39	43
1,1	—	85	85	41	41
1,5	1	—	—	—	—
2,0	0,5	—	—	—	—

ная. Поэтому, когда яркий свет наблюдается через две скрещенные пластинки, он окрашивается в темнокрасный цвет.

Прозрачность пленок и пластинок для обыкновенного света небезынтересна. Материал непроницаем для ультрафиолетовых лучей, но очень прозрачен для инфракрасных как при параллельных, так и при скрещенных пластинках; так что пара скрещенных пленок служит превосходным инфракрасным фильтром и не поляризует проходящее излучение. Прозрачность пленок для видимого спектра не так велика, как прозрачность пластинок, что вызывается, очевидно, большим рассеянием, но, конечно, стекло пластин поглощает больший процент инфракрасных лучей.

В последующей патентной заявке⁶ Ланд описывает способ употребления и приготовления пленок из нитроцеллюлозы, содержащей поляризующие ультрамикроскопические частицы неорганических структур, особенно пурпурного кобальтхлоридсульфата. Он установил, что пленки, изготовленные с частицами из этого вещества, соответственно ориентированными, дают полную поляризацию с неокрашенным проходящим лучом и особенно малыми потерями вследствие поглощения. Этот материал может иметь большие преимущества по сравнению с герпатитом.

Научное и техническое применение поляроида почти не ограничено. Наиболее очевидное и наиболее значительное применение, первым приходящее в голову, и специально упомянутое Ландом в

его первой патентной заявке, относится к много обсуждаемой проблеме слепящего действия автомобильных фар. При закрывании отверстия передних фар поляроидом с определенным образом расположенной плоскостью поляризации, например параллельной вертикальной плоскости, наблюдатель, смотрящий через поляроидный экран с плоскостью поляризации, параллельной горизонтальной плоскости, увидит самую фару просто как слабый темнокрасный источник, но все предметы, освещенные фарой, будут видны почти так же ясно, как без экрана. Свет лампы поляризуется, причем интенсивность понижается несколько более чем на 50%, но этот поляризованный свет деполяризуется в обыкновенный свет при рассеянии от поверхности предметов, видимость которых вследствие этого не уменьшается при наблюдении через скрещенные экраны.

Чтобы достичь результатов в вопросе о борьбе с ослепляющим действием фар, необходимо настаивать на издании закона о способе употребления и изготовления этого материала.

Так как обыкновенный свет при зеркальном отражении от неметаллических поверхностей под углом около $32-37^\circ$ к поверхности сильно поляризован в плоскости падения, т. е. колебания параллельны поверхности, то он поглотится при прохождении через поляроидную пленку с плоскостью поляризации, параллельной поверхности. Следовательно, детали отражающих свет предметов могут быть более ясно видны через пленки поляроида, что имеет большое значение в фотографических работах. Экраны Pola, расположенные перед объективом фотоаппарата, делают возможной иначе неосуществимую фотографию наклонно через стекло или воду. Рефлексы, скрывающие поверхностные детали или препятствующие хорошему изображению, могут быть смягчены.

Один экран, употребленный в форме очков, дает наблюдателю все указанные выше преимущества при рассматривании застекленных картин в картинных галереях в отношении устранения отблесков. Но такие очки не предохраняют достаточно от поверхностного блеска на улицах при заходе солнца — блеска, который так мешает при езде на автомобиле, так как это косое отражение незначительно поляризовано.

Если, однако, применить в очках второй экран, который можно вращать, то можно сконструировать специальные очки — консервы, описанные в патентной заявке Ланда⁷. Экраны, расположенные таким образом, могут быть использованы как практически нейтральное приспособление с переменной проницаемостью — очень простое и полезное во многих аппаратах. Свет, рассеянный от голубого неба, приблизительно, в плоскости, перпендикулярной солнечным лучам, сильно поляризован в плоскости, содержащей солнце и луч, отраженный от неба. Следовательно тон ясного голубого неба может быть при фотографировании в направлении, перпендикулярном солнечным лучам, изменен от светлого до очень темного при помощи вращения экрана Pola, расположенного перед объективом. Окружающие предметы могут быть, таким образом, представлены на фотографии самым необычным образом.

Если освещение плоскополяризовано помещением экрана Pola типа II перед источником света, то могут быть получены разнообразные полезные эффекты при наблюдении или фотографировании через второй экран. Хотя поляризованный свет становится естественным при рассеянном отражении, но он сохраняет свою поляризацию при зеркальном отражении от неметаллических поверхностей, и неприятное отражение может быть уничтожено вторым экраном.

Отражение от металлических поверхностей, однако, более сложно. Естественный свет лишь частично поляризуется при отражении от металлической поверхности и линейно поляризованный свет отражается как таковой лишь тогда, когда плоскость поляризации находится в плоскости падения или перпендикулярна к ней. При всех других азимутах линейно поляризованный свет при металлическом отражении превращается в эллиптически поляризованный, и, таким образом, второй экран не может совершенно уничтожить отражение.

Преимущества поляризованного освещения зависят от того факта, что зеркальное отражение тушится вторым экраном, тогда как деполяризованное отражение проходит через него. Когда полупрозрачный предмет исследуется или фотографируется в поляризованном свете, поверхностное зеркальное отражение может быть потушено, но свет, рассеянный от более глубоких слоев, проходит через экран, и такой предмет приобретает новый вид. Так, истинное строение кожи становится более ясным, когда освещение интенсивно.

Известно, что несколько времени назад в Нью-Йорке была продемонстрирована изобретателем поляроида стереоскопическая кино-проекция. Для этой цели две стереоскопические кинопленки проектировались на один и тот же экран одна на другую через поляроидные пластинки, плоскости поляризации которых были перпендикулярны друг другу. Аудитория была снабжена поляроидными очками, у которых пластинка для правого глаза уничтожала картину левого глаза, а пластинка для левого глаза уничтожала картину правого. Обычный интерференционный цветовой эффект, получаемый при введении пластинки одноосного кристалла или вещества вроде целлофана, который оптически ведет себя подобно одноосному кристаллу, между двумя скрещенными поляроидными пластинками, может быть использован для проекции на сцену окрашенного фона разных тонов.

Поляроидный экран найдет, таким образом, применение, особенно если несколько произвольные цены, установленные в настоящее время, будут значительно снижены, когда начнется массовая продукция. Он не может заменить шпат в измерительных приборах, где требуется полная поляризация, но, очевидно, он может быть применен с большим успехом в аппаратах для изучения фотоупругости, в проекционных фонарях, микроскопах, в глазных инструментах, в которых николь ограничивает отверстие или служит препятствием для отчетливости оптической картины.

Теперь, когда Ланд так удачно продемонстрировал возможность производства поляризующих экранов, несомненно, внимание будет концентрировано на производстве прозрачного материала, пропускающего более высокий процент поляризованного света равномерно для всего видимого спектра. Можно полагать, что когда замечательные явления фотоанизотропии, наблюдаемые Вейгертом, Цохером и Конером, будут полностью поняты, будут найдены средства, при помощи которых мы сможем полностью контролировать производство пластинок, поляризующих свет по кругу или эллипсу.

Вейгерт нашел, что линейно поляризованный свет может обрабатывать изотропную твердую коллоидальную систему в анизотропную с двойным преломлением и дихроизмом. При экспозиции сухого слоя хлористого серебра, взвешенного в геле, на белый свет образуется синевато-красный фотохлорид. Если теперь фотохлорид подвергнуть действию интенсивного поляризованного красного света, то фотохлорид приобретает двойное преломление и дихроические свойства с плоскостью поляризации, параллельной плоскости поляризации возбуждающего света. Фиолетовый или ультрафиолетовый свет не дает такого эффекта, равно как и анизотропия никогда не развивается при очень низких температурах. Вернер и Кун нашли также, что фотоанизотропия появляется в водянистом геле желтого красящего вещества хлопка при воздействии линейнополяризованного света.

Но Цохер и Конер показали, что свет, поляризованный по кругу, превращает тонкие хлористые слои, приготовленные хлорированием серебряных зеркал, в слои, дающие круговой дихроизм и круговое двойное преломление. Полученный круговой дихроизм обладает теми же признаками, что дихроизм, полученный при линейной поляризации. Так что можно сказать, что фотоанизотропный слой более прозрачен для поляризованного по кругу света противоположного направления.

Круговое двойное преломление, в котором поляризованное по кругу колебание в одном направлении замедляется относительно колебания противоположного направления вращения, является простой оптической активностью, и это первый случай, когда оптическая активность вызывается самим светом.

Для тех, кто недостаточно знаком с этими интересными и важными исследованиями по анизотропии, может быть указано, что краткое и ясное описание их с обширной библиографией дано проф. Фрейндлихом⁸.

ЛИТЕРАТУРА

1. W. B. Herapath, Phil. Mag., 3, 161, 1852; 6, 346, 1853; 7, 352, 1854; 9, 366, 1855.
 2. Beale, „How to Work with the Microscope“, 5 th edn., 1880, p. 23.
 3. B. Carpenter, The Microscope and its Revelations, 2 nd.edn., 1887, pp. 127, 128.
 4. Land, British Patent No 412, 179, Dec., 16, 1932.
 5. L. Ingersoll, J. Winans a. E. Krause; J. Strong, J. Opt. Soc. Am. 26, p. 233 a. p. 256, 1936.
 6. Land, British Patent No 433, 455, Jan. 15, 1934.
 7. Land, British Patent No 442, 825, June 17, 1935.
 8. H. Freundlich, Photographic J., 76, 395, 1936.
-