

скорости они светлеют и становятся ярче. Эти «горячие» места на поверхностях соприкосновения твёрдых тел можно легко сфотографировать. Для регистрации этих вспышек применялись также и фотоэлементы.

В последнее время были измерены коэффициенты трения новых материалов, относящихся к семейству пластмасс.

Интересно сравнить следующие цифры коэффициентов:

тефлон	$[-CF_2 - CF_2 -]_n$	0,04,
полиэтилен	$[-CH_2 - CH_2]_n$	0,1,
полистирол	$\begin{array}{c} C_6H_5 \\ \\ [-CH_2 - CH -]_n \\ \\ CH_3 \end{array}$	0,5,
перспекс	$\begin{array}{c} CH \\ \\ [CH_2 - C -]_n \\ \\ COOMe \end{array}$	0,8.

Как видно из этой таблицы, полистирол и перспекс, полимерные молекулы которых имеют боковые цепи, обладают высокими коэффициентами трения. Можно понять также, почему коэффициент трения тефлона меньше коэффициента трения полиэтилена. Влияние замены атомов водорода на атомы фтора можно рисовать себе следующим образом. Атомы фтора больше атомов водорода и имеют эффективный отрицательный заряд; они полностью экранируют атом углерода. При скольжении происходит контакт лишь между атомами фтора. В то же время в полиэтилене наряду с межмолекулярными контактами водород — водород могут осуществляться соприкосновения между атомами углерода и водорода.

Тефлон обладает ещё и тем замечательным свойством, что сохраняет значение коэффициента трения неизменным до температур порядка 300°С. Практическое использование тефлона затруднено его малой теплопроводностью и большим коэффициентом расширения. Если, однако, изготовить сложный материал, а именно, запрессовать тонкий слой (1 мм) тефлона в кусок пористой меди, то возникает весьма интересный материал, обладающий всеми свойствами меди, но имеющий коэффициент трения 0,05 вместо 1,0 вплоть до температуры 250°С. Следует подчеркнуть, что значение 0,05 является минимальной величиной коэффициента трения при наличии хорошей смазки.

А. К.

МНОГОЩЕЛЕВАЯ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЯ

За последнее время значительно расширилась область применения методов инфракрасной спектроскопии в научно-исследовательских и заводских лабораториях. Расширение области применения этих методов обязано в первую очередь значительному усовершенствованию как са-

мих спектральных приборов — монохроматоров, так и прогрессу в конструировании и изготовлении приёмников инфракрасной радиации — термоэлементов и болометров; имеются также достижения и по линии улучшения источников инфракрасного излучения. Наряду с решёнными задачами возникают новые проблемы, которые в свою очередь выдвигают всё более высокие требования к повышению чувствительности спектральной аппаратуры. Поскольку наилучшие образцы современных тепловых индикаторов приближаются по своей чувствительности к теоретическому пределу, обусловленному существованием тепловых флуктуаций, и в то же время повышение интенсивности излучения источников радиации в области средних и длинных волн наталкивается на непреодолимые трудности, то единственным путём повышения эффективности инфракрасной спектроскопии остаётся изыскание новых принципов усовершенствования спектральных приборов. В этом направлении достигнут существенный прогресс. Известно, что всегда можно добиться значительного повышения количества радиации, проходящей через монохроматор, путём расширения входной и выходной щелей. Однако этот способ повышения чувствительности имеет свою отрицательную сторону, заключающуюся в снижении разрешающей силы прибора, вследствие чего он делается непригодным для изучения тонкой структуры полос поглощения в инфракрасной области, имеющих большое научное и практическое значение.

Оригинальный метод, позволяющий повысить чувствительность спектральных приборов без понижения разрешающей силы, был недавно описан Голеем*), использовавшим идеи, высказанные Фельгеттом. Поскольку этот метод может найти себе применение не только в инфракрасной спектроскопии, где он позволяет повысить эффективность приборов более чем на порядок, но и в других областях экспериментальной физики, когда требуется регистрировать те или иные функции распределения, нам представляется целесообразным хотя бы кратко изложить этот новый принцип.

Представим себе, что в нашем распоряжении имеется монохроматор. Установим сначала ширину входной и выходной щелей так, чтобы была обеспечена желательная разрешающая сила прибора. Затем расширим обе щели в n раз по сравнению с исходной шириной. При этом, если размер приёмного устройства, расположенного позади выходной щели, достаточно велик, то показания прибора при изучении непрерывного спектра возрастут в n^2 раз. Действительно, расширение входной щели повысит освещённость в плоскости выходной щели в n раз, а расширение выходной щели ещё в n раз увеличит количество радиации, падающей на приёмник. Однако в результате расширения щелей произойдёт значительное ухудшение чистоты спектра, так как будет иметь место наложение друг на друга излучений различных длин волн. Рассмотрим несколько подробнее, как возникает засорение спектра, и покажем, как его можно избежать, используя предложенные Голеем методы.

Разделим расширенную в n раз входную щель на части $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$. Изображение этих частичных щелей в выходной плоскости монохроматора, полученное с помощью излучения заданной длины волны, позволяет разделить выходную щель монохроматора также на n частей $b_1, b_2, b_3, \dots, b_n$. Если на монохроматор падает излучение одной только заданной длины волны, то лучи, вошедшие в a_1 , вышли бы через b_1 и т. д. При падении смешанного излучения будет иметь место перекрёстное прохождение лучей через щели различных номеров, что приводит к падению разрешающей силы и засорению спектра «неже-

*) Golay, J. Opt. Soc. Amer. 39, 437 (1949).

лательной радиацией». Если бы удалось каким-нибудь образом исключить прохождение перекрёстных лучей, то это дало бы увеличение количества энергии, проходящей через монохроматор, без потери в разрешающей силе. Очевидно, что одними оптическими приёмами этого добиться нельзя. Однако, привлекая на помощь методы, известные из радиотехники и электронной автоматики, можно добиться желательного результата.

Один из таких методов заключается в следующем: будем модулировать радиацию, проходящую через частичную входную щель a_m , с частотой $f_1 + m\Delta f$, а радиацию, проходящую через частичную выходную щель b_m , с частотой $f_1 + m\Delta f$. В этом случае радиация заданной длины волны, для которой щели a_m и b_m сопряжены, будет после прохождения обеих щелей, промодулирована с частотой $f_2 - f_1$, в то время как радиация других длин волн, проходящая (при данном положении призм монохроматора) через щели с различными индексами, будет промодулирована с частотой $f_2 - f_1 + (k - i)\Delta f$, где i и k — индексы входной и выходной щелей соответственно. Подбирая $f_2 - f_1$ так, чтобы эта частота не совпадала ни с одной из частичных частот или с их суммой, можно в показаниях прибора выделить частоту $f_2 - f_1$. Таким образом, амплитуда колебаний этой частоты будет соответствовать интенсивности лучистой энергии заданной длины волны. Воздействие на измерительный прибор излучений других длин волн будет исключено, поскольку они будут промодулированы иными частотами. Таким образом, разрешающая сила прибора и чистота спектра будут соответствовать ширине щели, равной $1/n$ от её полной ширины, а интенсивность будет значительно повышена (в идеальном случае в n раз).

Таблица I

	Входные щели		Выходные щели	
	первый полупе- риод	второй полу- период	первый полу- период	второй полу- период
1-я частичная щель	0101	0101	1010	0101
2-я » »	0011	0011	1100	0011
3-я » »	0110	0110	1001	0110
4-я » »	0101	1010	1010	1010
5-я » »	0011	1001	1100	1100
6-я » »	0110	1001	1001	1001

Однако осуществление этой весьма общей схемы на практике довольно затруднительно, поэтому были предложены другие более эффективные схемы модуляции. Прежде всего для увеличения количества радиации целесообразно заменить синусоидальную модуляцию прямоугольной, т. е. такой модуляцией, при которой часть времени радиация проходит неослабленной, а часть времени она полностью задерживается. Проще всего уяснить себе характер модуляции, с помощью которой осуществляется задерживание перекрёстных лучей, из рассмотрения таблицы I. Эта таблица составлена для случая, когда расширенная щель монохроматора разделена на 6 частей, и весь период модуляции

подразделён на 8 равных по длительности интервалов. Цифры 1 и 0 в таблице обозначают прохождение и запираение светового луча, т. е. (в относительной мере) интенсивность луча, проходящего через данную частичную щель в определённый интервал времени.

Рассмотрение таблицы показывает, что радиация, проходящая через сопряжённые частичные щели (т. е. частичные щели одинакового номера), будет во всех случаях задержана в течение первого полупериода или на входной, или же на выходной щели. В течение второго полупериода она будет половину времени пропущена, а половину времени задержана. Иначе будет промодулирована радиация других длин волн, проходящая через частичные щели с неодинаковыми номерами. Например, лучи, идущие через первую и четвёртую или, наоборот, четвёртую и первую частичные щели, вообще не смогут пройти, так как одна из щелей всегда будет закрыта. То же самое будет иметь место и для комбинации щелей 2—5, 5—2, 3—6, 6—3. Иначе будет промодулирована радиация, идущая, например, через щели 4—2 и 2—4. В этом случае будет иметь место прохождение лучей в течение одной четверти длительности первого полупериода и одной четверти второго полупериода. Нетрудно убедиться, что при любой комбинации щелей различных номеров, промодулированных согласно схеме таблицы I, радиация будет полностью задержана или же будет проходить частично в первом полупериоде, а частично во втором. В то же время радиация нужной длины волны, прошедшая через сопряжённые щели, будет проходить только в течение второго полупериода. Не представляет затруднения разделить действие лучей, промодулированных этими двумя различными способами. Для этого надо соединить индикатор радиации с устройством, суммирующим разность показаний индикатора за оба полупериода. Таким индикатором может, например, служить коллектор из двух полуколец, вращающийся с периодом модуляции и передающий ток от индикатора к гальванометру. Благодаря подобному устройству радиация, прошедшая через щели с разными номерами и промодулированная так, что импульсы попадают в оба полупериода, не окажет воздействия на регистрирующий прибор, в то время как радиация, прошедшая сопряжённые щели, будет воздействовать на прибор.

Действие описанного устройства можно выразить математически. Пусть $f_m(t)$ изображает закон модуляции m -й входной частичной щели. Эта функция принимает только значения 0 и 1. Через $f_n^*(t)$ обозначим модуляцию n -й выходной частичной щели. Тогда выражение

$$\int_0^T f_m(t) f_n^*(t) P(t) dt = \delta_{m,n}, \quad (1)$$

где $\delta_{m,n} = \frac{1}{4}$ при $m=n$ и $\delta_{m,n} = 0$ при $m \neq n$, и функция $P(t)$, заданная равенствами

$$P = \begin{cases} -1 & \text{при } 0 < t < \frac{T}{2} \\ +1 & \text{при } \frac{T}{2} < t < T, \end{cases} \quad (2)$$

определяет значение функций $f_m(t)$ и $f_m^*(t)$. Для частного случая

шести частичных щелей значения этих функций приведены в таблице I. Эти сопряжённые «двухмерные функции» обладают свойством ортогональности по отношению к функции $P(t)$, заданной равенствами (2). Благодаря свойствам функции $P(t)$ происходит суммирование эффекта, вызванного прямо прошедшей радиацией, и исключение мешающей перекрёстно прошедшей радиации. Следует отметить, что свойство ортогональности сохраняется для каждой пары щелей в отдельности, и поэтому не обязательно совершенно равномерное освещение входной щели.

Укажем теперь простой способ построения значений функции $f_m(t)$ и её сопряжённой $f_m^*(t)$. Рассмотрим матрицу $\begin{vmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{vmatrix}$ и проделаем с ней итерационный процесс, заключающийся в том, что её повторно записывают в четырёх частях квадрата $\begin{vmatrix} \boxed{} & \boxed{} \\ \boxed{} & \boxed{} \end{vmatrix}$, причём в правом нижнем углу

матрицу «выворачивают», т. е. заменяют 0 на 1 и 1 на 0, иными словами, проделывают с ней операцию, которую она сама обозначает, если считать 0 за знак повторения, а 1 за знак замены («выворачивания»). Прделав эту операцию, получаем:

$$\begin{array}{c|c} 00 & 00 \\ 01 & 01 \\ \hline 00 & 11 \\ 01 & 10 \end{array}$$

Повторяя эту операцию со вновь полученной матрицей, получаем:

$$\begin{array}{c|c} 00 & 00 & 00 & 00 \\ 01 & 01 & 01 & 01 \\ 00 & 11 & 00 & 11 \\ 01 & 10 & 01 & 10 \\ \hline 00 & 00 & 11 & 11 \\ 01 & 01 & 10 & 10 \\ 00 & 11 & 11 & 00 \\ 01 & 10 & 10 & 01 \end{array}$$

Вычёркивая в этой матрице 1-ю и 5-ю строки, получаем первую часть таблицы I, т. е. значения функции f_m для $n=6$. Значения f_m^* получим, если сделаем замену («выворачиванием») первых четырёх столбцов матрицы. Повторяя построение, получаем сначала матрицу для 14 подщелей, затем для 30 и т. д.

Осуществить описанную выше модуляцию проще всего путём расположения перед расширенными входной и выходной щелями монохроматора двух вращающихся дисков со спиралевидными прорезями, соответственно значениям функций f_m и f_m^* . Изготовление этих дисков представляет сложную техническую задачу, которая была успешно разрешена авторами следующим образом. Пластина из материала, прозрачного для инфракрасных лучей, покрывалась распылением слоем непрозрачного металла (золота), который в нужных местах счищался. Поскольку получение существенного выигрыша в разрешающей силе без потери чувствительности возможно только в случае большого числа подщелей, то удаление слоя металла в соответствующих местах диска возможно лишь с помощью специального автоматического очень

точно действующего приспособления. Обрабатываемый диск приводился во вращение через червячную передачу (512:1) от мотора. Перед диском на специальном суппорте было укреплено «перо», которое с помощью электромагнита могло прижиматься к диску, счищая при этом слой непрозрачного металла. Во время вращения диска суппорт вместе с «пером» и электромагнитом перемещался вдоль радиуса диска, так что за один оборот диска он смещался на величину ширины частичной щели. Приблизительно такой же ширины полоса очищалась «пером» при прижатии его к диску. Таким образом, если щель подразделялась на 62 части (как это имело место в действительности), то для изготовления модуляционного приспособления диск должен был сделать 62 оборота, а за время одного оборота «перо» должно было 32 раза прижаться к диску для получения прозрачной частичной щели и 32 раза отойти от диска для получения непрозрачной частичной щели. Следовательно, для изготовления диска требуется $62 \times 64 = 3968$ включений

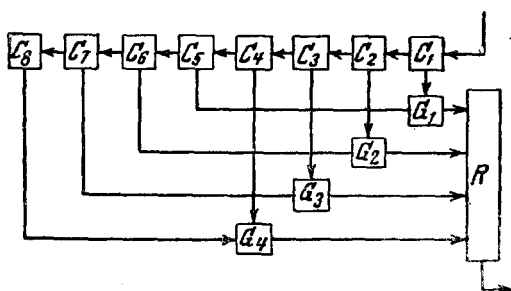


Рис. 1.

и выключений электромагнита, управляющего «пером». Моменты включения и выключения электромагнита должны быть очень точно заданы в соответствии с видом функций f_m и f_m^* .

Осуществить точное управление электромагнитом от руки совершенно невозможно, поэтому необходимо было создать специальную схему управления электромагнитом. Простоты ради покажем действие такой схемы не для случая 62, а всего для 14 частичных щелей. Принципиальная схема такого устройства показана на рис. 1. Элементы $C_1, \dots, C_8$ изображают счётчики, образованные триггерными ламповыми схемами, имеющими два устойчивых положения равновесия. Подводимый к счётчику импульс напряжения переводит счётчик из одного состояния в другое. Два последовательных импульса переводят счётчик в исходное состояние. При этом счётчик посылает импульс следующему за ним другому счётчику и т. д. Совокупность таких счётчиков представляет собой не что иное, как счётное устройство числа импульсов в двучеричной системе исчисления. Элементы схемы G_1, G_2, G_3, G_4 называются «воротами»; их устройство таково, что когда они одновременно получают импульсы от обоих счётчиков, с которыми они соединены, то они передают импульс элементу схемы R . Если же на «ворота» действует только один импульс, то они его запирают. Элемент схемы, обозначенный буквой R , передаёт на электромагнит, управляющий «пером», импульс, когда на него действует нечётное число импульсов, пропущенных «воротами». Нетрудно убедиться, что устроенная таким образом схема будет при подаче на первый счётчик после-

довательных импульсов напряжения генерировать на выходе элемента R импульсы в соответствии со значениями функции f_m , если считать отсутствие импульса за нуль, а импульс за единицу. Первые шестнадцать импульсов образуют первую строку матрицы. Вторые шестнадцать — вторую и т. д. При подаче импульсов, соответствующих правому нижнему квадранту матрицы, счётчики S_4 и S_8 будут в состоянии «единица», и, таким образом, этот четвёртый квадрант будет перевёрнут по сравнению с остальными тремя квадрантами. Для получения матриц с большим числом элементов надо только соответственно увеличить число счётчиков и «ворот».

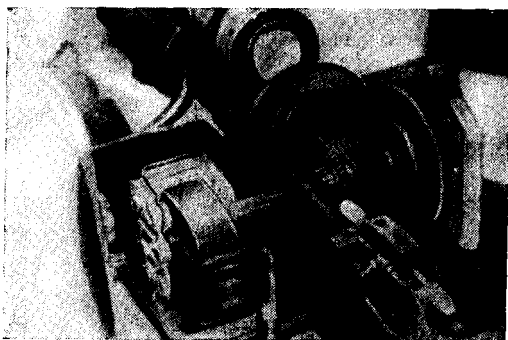


Рис. 2.

Для приведения в действие всего устройства служит фотоэлемент, получающий световой импульс при каждом обороте мотора, вращающего его модуляционный диск.

Изготовленные таким образом диски помещаются перед входной и выходной щелями монохроматора, фотография которого приведена на рис. 2.

Описанное устройство монохроматора с 62 частичными щелями должно было теоретически иметь чувствительность, в 32 раза бо-

лее высокую, чем простой монохроматор с той же шириной щели. Однако ввиду необходимости дополнительно ограничить высоту щели, которая, кроме того, частично экранировалась осью вращения одного из дисков, было достигнуто повышение чувствительности приблизительно в 10 раз при ширине частичной щели в 0,126 мм. Предполагается в дальнейшем сконструировать монохроматор с 126 частичными щелями, что даст ещё больший выигрыш в чувствительности.

Автор указывает, что из практических соображений оказалось целесообразнее изготавливать модуляционные диски, исходя не из описанной выше простой матрицы, а из несколько видоизменённой, которая получается из первой перестановкой местами отдельных столбцов. Более подробного описания видоизменённой матрицы и соответствующего ей счётного устройства в статье не приводится.

К. Вульфсон

РАССЕЯНИЕ И ПОГЛОЩЕНИЕ СВЕТА ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ В ПОЛИКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВАХ

Для определения технического выхода люминесценции по известному абсолютному выходу важно знать, какая часть возбуждённой внутри вещества люминесценции достигает поверхности слоя и излучается вовне, ибо часть света люминесценции поглощается в светя-