

ПЕРЕНОС ОПТИЧЕСКОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ ПО ИСКРИВЛЁННОМУ ПУТИ ПРИ ПОМОЩИ ГИБКОГО ВОЛОКНИСТОГО СВЕТОПРОВОДА

Нередко возникает необходимость в передаче оптического изображения по искривлённому пути. В частности, такого рода устройства используются в медицине для осмотра внутренних органов (цистоскопы, гастроскопы, бронхоскопы и т. п.). При этом ставится требование гибкости и лёгкой приспособляемости передающей изображение системы к условиям её введения в исследуемый орган. Существующие приборы, предназначенные для этих целей и представляющие собой сложные системы линз, призм и зеркал, обладают рядом крупных недостатков. Прежде всего они либо состоят из жёстких сочленений, либо имеют крайне ограниченную гибкость. Далее, вследствие огромного количества оптических поверхностей (в современном гастроскопе число линз достигает 50) им свойственны большие потери света и сильный фон рассеяния. Кроме того, качество изображения оказывается очень низким вследствие всевозможных аберраций. Наконец, что особенно важно, эти приборы обладают крайне малой апертурой.

Авторы реферируемых заметок^{1,2} разработали новый метод решения этой задачи, в значительной мере свободный от указанных недостатков, и в сущности воспроизводящий устройство глаза некоторых насекомых.

Хорошо известно, что свет, попавший в искривлённую стеклянную палочку или струю воды, будет при известных условиях испытывать на её поверхности полные внутренние отражения и сможет выйти только на её конце. Это явление будет иметь место и в случае тонкой нити из стекла или другого прозрачного материала, находящегося в среде с меньшим показателем преломления. Иными словами, тонкая стеклянная нить может выполнять роль светопровода: свет, упавший на один из её концов, выйдет из другого её конца, практически независимо от её формы (если, конечно, отсутствуют изломы). Теоретическое рассмотрение показывает, что это справедливо для нитей, диаметр которых больше примерно 0,01 мм, так как в противном случае приобретают значения дифференциальные явления — нить будет действовать как волновод и будет иметь место просачивание энергии через её стенки. Опыты показали², что действительно, в случае нити из боросиликатного стекла, имеющей диаметр 0,025 мм и длину 750 мм, свет, упавший на один из концов нити, выходит из другого её конца.

Если длина нити L и угол, который составляет луч света с осью нити, φ , то на пути вдоль нити луч испытывает $\frac{L \operatorname{tg} \varphi}{D}$ отражений (D — диаметр нити). В частности, для $\varphi = 10^\circ$, $D = 0,025$ мм и $L = 25$ мм луч испытывает 116 отражений. Таким образом, вдоль нити пройдут практически только те лучи, для которых $\frac{\pi}{2} - \varphi$ больше угла полного внутреннего отражения. При этом интенсивность прошедшего света существенно зависит от качества поверхности, в том числе и от её чистоты. Длина пути луча внутри нити равна $L \sec \varphi$ и (если не учитывать потерь при отражениях) прозрачность нити T делается соотношением $\ln T = -\alpha L \sec \varphi$, где α — коэффициент поглощения стекла, вообще говоря достаточно малый. Если нить имеет на концах плоские срезы и если показатель преломления материала, из которого она сделана, больше 1,4, то угол раствора светового пучка, входящего в нить и выходящего из него, превышает $\frac{\pi}{2}$.

Представим себе теперь, что мы имеем плотно упакованный пучок таких нитей. На один из концов этого пучка проектируется изображение объекта (угол зрения может достигать $\frac{\pi}{2}$). Тогда свет, попадающий на торец какой-нибудь из нитей, выйдет из её другого торца, в результате чего (если, разумеется, нити не перепутаны) на втором конце пучка образуется изображение объекта. Изображение это, естественно, будет не непрерывным, а точечным, наподобие телевизионного изображения. Однако если диаметр нитей равен 10μ , то на переданном лучном изображении будут различимы детали размером 20μ (учитывая промежутки между нитями). Это соответствует разрешающей способности 5 линий на миллиметр, т. е. примерно разрешающей способности невооружённого глаза. Иными словами, глаз будет воспринимать изображение как практически непрерывное. Опыты, поставленные авторами^{1,2}, подтверждают изложенные соображения — при помощи подобных «фиброскопов» им удавалось получать превосходные по отчётливости изображения (в частности — текста). При этом изгибания пучка (до 360°), а также искривления его средней части не сказывались на получаемом при его помощи изображении.

Практически, для изготовления фиброскопа наиболее пригодным оказалось стекло — как по своим механическим, так и по оптическим свойствам (малое поглощение). Другие материалы (кварц, нейлон, полистирен) оказались значительно хуже. С целью улучшения условий внутреннего отражения и предотвращения просачивания энергии в местах соприкосновения волокон друг с другом один из авторов¹ рекомендует покрывать поверхность нитей слоем прозрачного вещества (пластмассы) с меньшим показателем преломления, толщиной в несколько длин волн.

Пучок волокон изготавливается путём наматывания длинной нити на барабан — слой за слоем — с последующим закреплением и разрезанием пучка.

Сравнительно большая прозрачность, широкоугольность и гибкость при достаточной разрешающей способности обеспечивают, по видимому, большие возможности применения описанного устройства. Отметим, что оно отличается от сложного глаза насекомого тем, что в последнем каждый из светопроводов имеет отдельную линзу, тогда как в фиброскопе имеется одна общая оптическая система, проектирующая изображение на переднюю торцовую поверхность пучка волокон. Вместе с тем структура получаемого при его помощи изображения не отличается от структуры изображения, воспринимаемого глазом или иконоскопом, со свойственной им дискретностью воспринимающего аппарата.

Г. Р.

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. A. C. S. Van Heel, Nature 173, № 4392, 39 (1954).
2. H. H. Hopkins, N. S. Карану, Там же.