

## ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИЕ СВЕТОМОДУЛЯТОРЫ СОЛНЕЧНОГО МАГНИТОГРАФА ИЗМИРАН

И. А. Жулин

Для измерения слабых магнитных полей на Солнце применяется фотоэлектрический модуляционный метод [1,2,3], включающий в себя модуляцию интенсивности спектральной линии, поляризованной по эллипсу. В [1] описано применение для этой цели механического модулятора. Перед входной щелью спектрографа ставится пластинка в четверть волны и поляроид, вращающийся с частотой 16,5 оборотов в секунду. При этом на фотоэлектронный умножитель, расположенный после спектрографа, падает световой поток, модулированный с частотой 33 гц. Основным недостатком установки являлась недостаточная чувствительность. Низкая частота модуляции приводила к неоптимальному отношению сигнала к шуму, снижая тем самым чувствительность магнитометра. Поэтому выгоднее брать частоту модуляции выше 100–200 гц [3]. Применение электрооптического светомодулятора позволяет управлять частотой модуляции.

Помимо неудобств, присущих любому электромеханическому устройству (вибрация, трение, влияние частоты сети), использование механического модулятора дает ложную модуляцию светового потока. Вращение плоскости поляризации света, падающего на зеркала и дифракционную решетку в спектрографе, создает изменение приборной поляризации, которое нельзя устранить неподвижной стопой или пластинкой.

Известно использование в качестве светомодулятора ячейки Керра [4]. Практика показала, что рабочую точку оказывается удобным выбирать на середине первой ветви характеристики не только с целью уменьшения нелинейных искажений, но и потому, что нитробензол ведет себя лучше, если полярность приложенного напряжения в целом не меняется.

Расстояние между электродами приходится (в целях облегчения юстировки при совмещении щели спектрографа с зазором между электродами ячейки) оставлять достаточно большим ( $\sim 1$  мм), поэтому прикладываемые напряжения имеют величину порядка 1000 в для постоянной составляющей и порядка 500 в для переменной. Ячейка Керра в качестве светомодулятора была применена в солнечном магнитометре ИЗМИРАН. Частота модуляции была выбрана 225 гц.

Однако ячейке Керра присущ ряд специфических недостатков. Это, прежде всего, необходимость использования химически чистого нитробензола. Помимо этого, нитробензол имеет неприятный запах, сильно ядовит и может разрушать материал ячейки и оптические части установки. Твердый электрооптический модулятор устраняет эти недостатки. Обычно используют фосфат аммония  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$  [5]. Эти кристаллы искусственно выращиваются до больших размеров, имеют превосходные характеристики пропускания в видимой области и обладают сравнительно высокими электрооптическими константами. Наиболее удобен как светомодулятор  $z$ -срез кристалла с электрическим полем, приложенным вдоль оси  $z$ , и светом, идущим в том же направлении. Без приложенного напряжения кристалл является одноосным. При распространении луча наклонно к оптической оси наблюдается двойное лучепреломление. Чередование темных и светлых окружностей в поле зрения объясняется угловыми размерами светового пучка. Концентрические круги кажутся разрезанными по двум взаимно-перпендикулярным направлениям, определяемым главной плоскостью поляризатора и плоскостью, к ней перпендикулярной. В случае скрещенных поляризаторов это — темный крест, центральная часть поля зрения — темная. Ясно, что эти обстоятельства ограничивают угловое поле зрения. Однако если допустить пропускание света по краю полезной части поля зрения в 1%, то допустимый угол сходимости лучей около 2,5°, что вполне осуществимо на практике.

Теоретический анализ электрооптического эффекта в кристалле фосфата аммония, проведенный в [5], показывает, что при наложении электрического поля вдоль оси кристалл становится двуосным с углом  $\Omega$  между оптическими осями. Угол  $\Omega$  меняется с напряжением. Плоскость оптических осей не зависит от величины напряжения и наклонена под углом 45° к кристаллографическим осям. Теоретическое рассмотрение показывает, что замедление одного луча относительно другого вдоль нормали к пластинке есть функция напряжения:  $\Gamma = r_{63} V n^3 / \lambda$ , где  $\Gamma$  — замедление,  $r_{63}$  — электрооптический коэффициент,  $V$  — приложенное напряжение,  $n$  — показатель преломления необыкновенного луча до приложения напряжения,  $\lambda$  — длина волны.

Для замедления в  $\lambda/2$ , необходимого для стопроцентной модуляции линейной поляризованного света, ввиду малости электрооптического коэффициента требуется высокое напряжение порядка 9000 в (для  $\lambda = 5250 \text{ \AA}$ ). Для модуляции циркулярно поляризованного света достаточно подавать переменное напряжение с амплитудой около 4500 в, что дает замедление, меняющееся от  $+\lambda/4$  до  $-\lambda/4$ .

В практическом использовании очень важна проблема наложения электродов на кристалл. Электроды должны быть прозрачны. Это недостаток кристаллического светомодулятора по сравнению с ячейкой. Современная техника позволила применить по-

лупроводниковые пленки двуокиси олова, нанесенные на стекло [6]. При сопротивлении пленки порядка  $10^4 \text{ ом}$  на квадрат слой настолько тонок, что потери на отражение не больше, чем от самого стекла\*. Оптическое качество электродов много лучше при тонких покрытиях, чем при толстых. Однако при тонких покрытиях распределение потенциала на поверхности электрода менее равномерно. Толщина пленки была выбрана оптимальной, исходя из указанных выше соображений ( $\sim 700 \text{ \AA}$ ). Полного контакта электродов с кристаллом достигнуть не удается. Пространство между кристаллом и электродами заполняется тонким слоем канадского бальзама. Кристалл при этом очень плохо реагирует на постоянное напряжение, что видно из рассмотрения эквивалентной электрической схемы кристалла. Однако уже с частот порядка 5 гц работа кристалла проходит нормально.

При наложении напряжения изохроматы имеют вид лемнискат. Вместо темного креста имеем две гиперболы, проходящие через полюса лемнискат. Полюса лемнискат служат местами выхода двух оптических осей кристалла. В центральной части поля зрения светло. Если прикладываемое напряжение изменяется с течением времени, то картина меняется в соответствии с напряжением, проходя через различные фазы. Ясно, что в центральной части картины в этом случае световой поток будет модулироваться в соответствии с приложенным напряжением.

Переменное напряжение, подаваемое на кристалл, порядка 3500 в, т е мы используем не всю первую ветвь характеристики. При большем напряжении возникает опасность выхода кристалла из строя при длительной эксплуатации из-за несовершенной изоляции. Пробивное напряжение кристалла  $\sim 25 \text{ кв} \cdot \text{мм}^{-1}$ . Расчет и изготовление блока подачи напряжения на кристалл представляют собой определенные трудности ввиду того, что кристалл является практически чисто емкостной нагрузкой. В нашем случае этот блок представляет собой двухтактный трансформаторный усилитель на лампах Г-807. В остальном кристаллический светомодулятор используется так же, как и ячейка Керра.

Следует указать на ряд возможных применений кристаллического светомодулятора, например, использование в интерференционно-поляризационных фильтрах с перемещаемой по спектру полосой пропускания и в качестве затвора для скоростной съемки (экспозиции до  $10^{-9} \text{ сек}$ ).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Э. И. Могилевский, А. Е. Веллер, В. М. Вальд-Перлов, ДАН СССР, 95, 957 (1954)
2. Н. С. Никулин, А. Б. Северный, В. Е. Степанов, Изв. Крымской астрофиз. obs., 19, 3 (1958)
3. Э. И. Могилевский, И. Д. Гиц, Б. А. Иошпа, Изв. высш. уч. зав.—Радиофизика, 3, 67 (1960)
4. П. Г. Тагер, Ячейка Керра, Гостехиздат, М., 1937.
5. В. Н. Billings, J Opt Soc Am, 39, 797 (1949).
6. А. Я. Кузнецов, Б. П. Крыжановский, Информационный бюллетень, № 1 (18), ОНТИ ГОИ, Ленинград, 1957.

Институт земного магнетизма, ионосферы  
и распространения радиоволн АН СССР

Поступила в редакцию  
18 марта 1959 г.

#### ИЗМЕРЕНИЕ ВХОДНОГО ИМПЕДАНСА ПЕРИОДИЧЕСКОГО ВОЛНОВОДА С ПОМОЩЬЮ ПРОИЗВОЛЬНОЙ НАГРУЗКИ

А. И. Зыков, С. Г. Кононенко

Измерение импеданса переходного устройства на входе периодического волновода необходимо при согласовании последнего со стандартным волноводом, по которому высокочастотная мощность поступает от генератора или отводится в оконечную нагрузку. Использование для этой цели подвижной поглощающей нагрузки в периодическом волноводе предложено в [1]. Однако опыт показывает, что изготовление хорошо согласованной нагрузки встречается с известными затруднениями. В связи

\* Кристалл для светомодулятора был изготовлен А. Б. Гильваргом (Институт кристаллографии АН СССР).