

ОПТОЭЛЕКТРОННОЕ УСТРОЙСТВО КОНТРОЛЯ  
КОНЦЕНТРАЦИИ КИСЛОРОДА

М.А. КСЕНОФОНТОВ, А.В. ПОЛЯКОВ, В.С. ВАСИЛЬЕВА

Научно-исследовательское учреждение  
«ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНЫХ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ  
им. А.Н.Севченко» БГУ  
Минск, Беларусь

Разработка методов определения физических параметров и соответствующих приборов является одним из важнейших направлений развития измерительной техники на современном этапе. В данной работе показан новый метод определения концентрации кислорода с использованием оптоволоконных датчиков.

В основе принципа измерений лежит такое специфическое свойство газообразного кислорода, как парамагнетизм, поскольку именно кислород среди всех газов обладает наибольшей парамагнитной восприимчивостью. Физическая сущность парамагнетизма кислорода состоит в том, что молекула кислорода в свободном состоянии обладает постоянным магнитным моментом  $P_m$ , не зависящим от внешнего магнитного поля  $H$ . Если некоторый объем  $V$ , заполненный  $O_2$ , поместить в постоянное магнитное поле  $H_0$ , произойдет его намагничивание, вследствие чего действующее поле  $H_0$  изменится на  $\Delta H$ . В результате, деформация магнитоотрицательного материала, помещенного в это поле, преобразовывается в деформацию жестко связанного с ним оптического волокна. Изменение оптического пути светового потока приводит к изменению частоты рециркуляции одиночного импульса в замкнутом оптоэлектронном контуре, которое регистрируется достаточно просто и с высокой точностью. Проведенные исследования показали, что наиболее предпочтительным магнитным материалом является аморфный ферромагнетик на основе сплава  $Fe_{1-x-y}B_xS_y$  (получивший название «металлическое стекло»). Оптимальная геометрическая форма магнитоотрицательного элемента – тонкая узкая полоска, квадрат длины которой  $L_m^2$  существенно превосходит площадь ее поперечного сечения  $S_m$ .

Отклик на присутствие кислорода в измерительном объеме сопряженной подсистемы элемент – волокно в линейном приближении по  $\Delta H$  можно представить в виде:  $\Delta I \approx 2CH_0\Delta H(N_0, \theta)$ , где  $C$  – эффективная константа магнитоотрицательности подсистемы, учитывающая свойства собственно ферромагнетика, его форма и механической нагруженности из-за сопряжения с волокном, эффективность передачи деформации, а  $\Delta H$  является функцией концентрации  $N_0$  и температуры кислорода  $\theta$ .



Конструкция чувствительного элемента следующая. Измерительный объем, имеющий вход и выход для газового потока, представляет собой тороидально изогнутую трубку из немагнитного материала, на внешней поверхности которой закреплена кольцеобразная полоса ферромагнетика – металлического стекла. На этой полоске в виде плотно упакованных витков расположено оптическое волокно, жестко закрепленное цианоакрилатом. Поверх этой конструкции навита электрическая катушка для формирования постоянного магнитного поля во внутреннем объеме тора. Внутренний радиус тора выбирался таким, чтобы неоднородность магнитного поля в объеме тора не превышала 10 %.

Предлагаемая схема датчика позволяет получать измеряемую информацию от различных точек волоконно-оптического тракта. Это достигается путем использования метода спектрального мультиплексирования, когда рециркуляция в волоконно-оптической системе осуществляется на различных длинах волн. Волоконно-оптический тракт разделен на секции волоконными брэгговскими решетками (ВБР), играющими роль селективных спектральных отражателей. Период каждой решетки подбирается таким образом, что отражение происходит только на определенной длине волны. Проведенные расчеты показали, что для резонансной длины волны отражения  $\lambda_0=1550$  нм; длины решетки 10 мм; амплитуды модуляции наведенного показателя преломления  $\Delta n=10^{-4}$ ; диаметра сердцевины волокна  $d_{\text{в}}=9$  мкм; ширина спектра отражения ВБР составляет 0,25 нм по основанию, а коэффициент отражения равняется 0,92.

В качестве источника излучения используется перестраиваемый кольцевой волоконный лазер. Лазер имеет однонаправленную кольцевую архитектуру, включающую в себя оптический изолятор, направленный ответвитель, легированное эрбием волокно, накачка которого осуществляется диодным лазером с длиной волны 980 нм. Перестраиваемый полосовой фильтр используется в качестве внутривибраторного сканирующего фильтра, имеющий полосу пропускания 0,27 нм по уровню 3 дБ и спектральную ширину области перестройки 58 нм. В результате, длину волны излучения лазера можно перестраивать в диапазоне 40 нм в пределах длин волн от 1525 нм до 1565 нм. Таким образом, предлагаемая конструкция квазираспределенного датчика позволяет получать информацию от более чем 100 точек измерения по одному волоконно-оптическому тракту. При этом, такое устройство позволяет определять относительную концентрацию кислорода в газовой смеси на уровне единиц процентов при комнатной температуре.

Работа выполнена при поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (проект Ф09-094).