

УДК 621.315.592:535.215:546.817.23

## **ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ СЛОИ PbSe СО СМЕЩЕННОЙ ДЛИННОВОЛНОВОЙ ГРАНИЦЕЙ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ**

*Г. А. Казанцев, Ю. А. Глебов, В. Г. Буткевич, Н. Ю. Зверева,  
Т. А. Камышина, Т. А. Стрельникова*

Государственное унитарное предприятие «Научно-производственное объединение "Орион"»,  
Москва, Россия

*Приведены результаты исследования химических слоев селенистого свинца, осажденных на подложках из фотостекла с селективными интерференционными дихроичными зеркалами, увеличивающими фотоактивное поглощение в области спектра 4 мкм и более. Интегральные  $D^*$  и  $S_u$  при этом обладают повышенными значениями по сравнению с фотослоями, изготовленными традиционными способами.*

Для ряда практически важных задач, например, таких как создание спектро-аналитических приборов регистрации наличия в атмосфере опасных concentra-

ций  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$  и ряда органических соединений, необходимы относительно простые фотоприемники, обладающие достаточно высокой чувствительностью в спектральном диапазоне 4,3—4,8 мкм. Таким требованиям отвечают фоторезисторы из селенистого свинца, однако, при комнатной или близкой к ней температуре их обнаружительная способность в указанном спектральном диапазоне составляет лишь от 0,1 до 0,01 от величины в максимуме спектральной характеристики чувствительности ( $\lambda_{\text{max}} = 3,6\text{—}3,8$  мкм). Представляло практический интерес разработать технологические методы, позволяющие сместить длинноволновую границу спектральной чувствительности в более длинноволновую область спектра. Исследование оптических характеристик слоев  $\text{PbSe}$  (коэффициенты поглощения, пропускания и отражения) в области их спектральной чувствительности показало, что частичное решение задачи возможно за счет некоторого увеличения толщины слоев и связанного с этим фотоактивного поглощения [1—4].

С этой целью была разработана методика двухкратного осаждения путем добавления в "истощенный" раствор осадительной ванны свежих порций реагентов. Очевидно, достичь таким путем значительных сдвигов спектральной характеристики не представляется возможным, так как при толщинах слоя, превышающих некоторую оптимальную величину, неизбежно будет происходить уменьшение обнаружительной способности.

Эксперименты показали, что при 2-кратном осаждении толщины слоев составляют 0,7—0,85 мкм вместо 0,55—0,65 — при однократном. Значение же  $S(\lambda)$  для области  $\lambda = 4,0\text{—}4,7$  мкм возрастает более значительно.

Так, если при однократном осаждении  $S(\lambda)/S(\lambda_{\text{max}})$  для  $\lambda = 4,3$  мкм составляет 0,3—0,6, а для  $\lambda = 4,7$  мкм — 0,01—0,1, то при двухкратном — 0,55—0,7 и 0,15—0,3, соответственно.

Дополнительное увеличение  $D^*$ , как известно, может быть также реализовано за счет нанесения на обратную сторону подложки фоточувствительного слоя зеркального отражающего покрытия. Такое зеркало, возвращая в слой прошедшее через него и подложку излучение, позволяет несколько увеличить (на 10—15 %) интегральное значение  $D^*$  (573, 1200, 1,  $2\pi$ ), но не позволяет увеличить, а в ряде случаев и уменьшает значение  $S(\lambda)/S(\lambda_{\text{max}})$ , так как спектральное пропускание подложки (в случае фотостекла) для длин волн более 4,2 мкм начинает резко уменьшаться.

Значительно более эффективным способом коррекции спектральной характеристики чувствительности может являться использование селективных интерференционных зеркал, непосредственно на которые наносятся фоточувствительные слои  $\text{PbSe}$ .

Для решения этой задачи было предложено разработать методику изготовления и использовать дихроичное зеркало.

Как известно, дихроичное зеркало представляет собой интерференционную матрицу Фабри-Перро, т. е. многослойную систему из нескольких десятков тонких слоев с разными показателями преломления и строго определенной толщиной каждого слоя, нанесенных на полированную подложку из оптического материала. Дихроичное зеркало обладает уникальным свойством спектрально-пространственного разделения падающего лучистого потока: излучение с заданным спектральным составом отражается от зеркала в направлении падающего излучения ( $R$ ), а остальная часть излучения проходит через подложку ( $T$ ). Если подложка изготовлена из непоглощающего материала, то  $R + T = 1$ .

Следовательно, сущность предлагаемого решения состоит в том, чтобы совместить ФЧЭ PbSe с дихроичным зеркалом, отражающим длинноволновое излучение ( $\lambda = 4,0$  мкм и более). При этом, поступающее к ФЧЭ излучение в полном объеме проходит слой PbSe, частично поглощается в нем, создавая эффект фотопроводимости в соответствии со спектральной чувствительностью слоя PbSe, достигает дихроичного зеркала, отражается им в спектрально-ограниченной зоне (4,0—5 мкм), вновь возвращается в слой PbSe и создает дополнительный эффект фотопроводимости только в этой спектральной зоне. Суммируясь, оба эффекта приводят к смещению максимума спектральной чувствительности ФЧЭ в сторону длинноволнового диапазона спектра, причем не только без потери, но даже с некоторым увеличением интегральной чувствительности в соответствии с относительной долей возвращенного в слой излучения.

Нанесение зеркала производилось путем распыления мишеней из кремния и кварца в высокочастотном разряде чистого аргона ( $f = 13,56$  мГц) на установке VZK-550 фирмы Leybold Heraeus. Напыление производилось на подложке из фотостекла размером 25x25 мм при давлении аргона  $(1-2) \cdot 10^{-3}$  торр. При этом до напуска аргона камера откачивалась до вакуума лучше, чем  $5 \cdot 10^{-3}$  торр. Использовался аргон высокой чистоты. Напряжение на мишени не превышало 3,0 кВ, что соответствовало скорости осаждения до 50 нм/мин, при этом температура подложки достигала 350—400 °С.

Спектральные характеристики отражения и пропускания одного из изготовленных зеркал приведены на рис. 1.

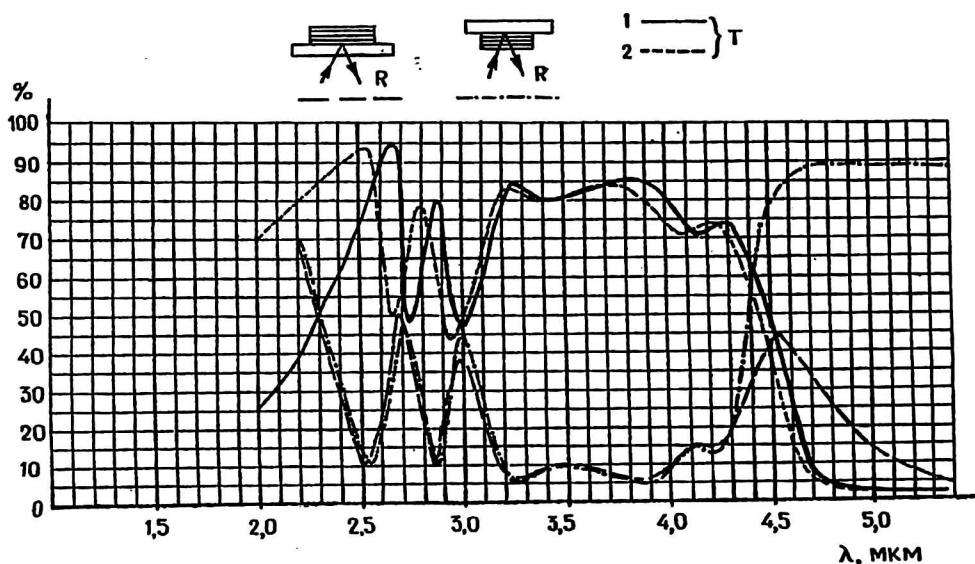


Рис. 1. Спектральные характеристики отражения и пропускания дихроичного интерференционного зеркала

Последний слой дихроичного зеркала являлся кварцевым, на который наносился слой PbSe по стандартной технологии с двукратным осаждением. Изготовленные зеркальные покрытия являются исключительно стойкими ко всем технологическим операциям нанесения слоя PbSe, включая термообработку.

На рис. 2 приведены спектральные характеристики чувствительности полученных слоев PbSe. Из него следует, что применение в качестве подслоя PbSe дихроичных зеркал позволило существенно повысить чувствительность в спектральной области за 4 мкм.

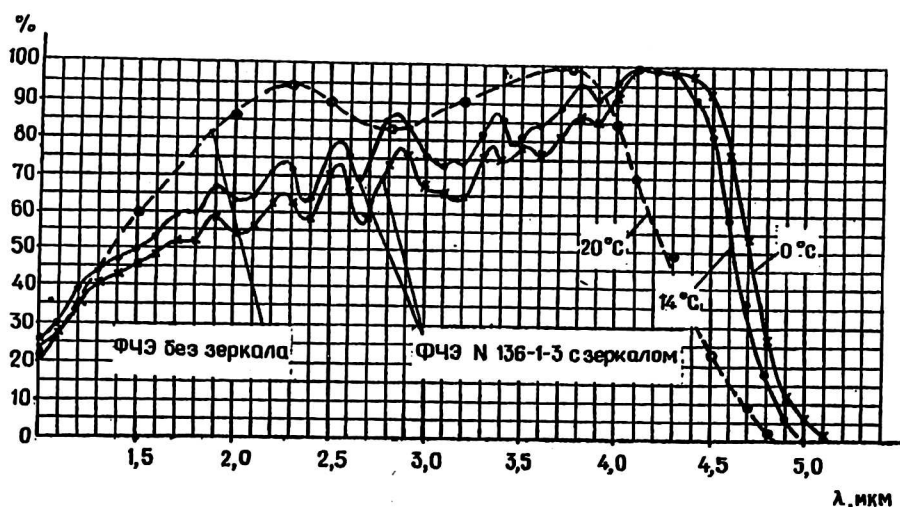


Рис. 2. Относительные спектральные характеристики чувствительных слоев PbSe на подложках без зеркала и с зеркалом

При комнатной температуре величина  $S(\lambda)/S(\lambda_{max})$  для  $\lambda = 4,3$  мкм достигает теперь 0,82—0,98, а для  $\lambda = 4,7$  мкм — 0,25—0,5.

Таким образом использование в качестве подложек слоев PbSe дихроичных зеркал позволяет существенно, в несколько раз, увеличить  $S_\lambda$  при  $\lambda = 4,0$  мкм и более по сравнению со значениями, получаемыми при изготовлении ФЧЭ по стандартной технологии.

**Литература**

1. Humphry J. N., Petritz R. L. Зависимость спектральной чувствительности от толщины слоя PbSe // Phys. Rev. 1957. № 105. С. 1792.
2. Gibson A. F., Lawson W. D., Moss T. S. Спектральная чувствительность слоев PbSe // Proc. Phys. Soc. 1957. A-64. С. 1054.
3. Humphry J. N., Scanlon W. W. Фотопроводимость PbSe (экспериментальная часть) // Phys. Rev. 1957. V. 105. № 9. P. 469—476.
4. Robertz F. X. Фотопроводимость в селениде свинца // Journal of Electronics and Control, 1958. V. 5. № 3. P. 256—269.

**PHOTOSENSITIVE PbSe LAYERS WITH SHIFTED LONGWAVE PHOTOSENSITIVITY BOUNDARY**

G. A. Kazantsev, Y. A. Glebov, V. G. Butkevitch, N. Y. Zvereva,  
T. A. Kamishina, T. M. Strelnikova  
The State Unitary Enterprise «RD&P Centre "Orion"», Moscow, Russia

Result of studying chemical PbSe layers deposited on photoglass substrates with selective interference dichroic mirrors increasing photoactive absorption in 4 mkm and more spectral range are given. Integral  $D^*$  and  $S_u$  have higher values in comparison with photolayers manufactured by traditional methods.