

Покрyтия

Отражающие и пропускающие свойства оптических компонентов могут быть выборочно и контролируемо изменены, усилены или подавлены за счет нанесения специальных оптических покрытий. Тидекс предлагает большой выбор покрытий в широком спектральном диапазоне от глубокого ультрафиолета (от 193 нм) до дальнего инфракрасного диапазона (20 микрон). Для нанесения оптических покрытий применяются электронно-лучевой метод и метод резистивного испарения на установках Balzers ВАК-760 (Лихтенштейн) и ВУ-1А (Беларусь), а также метод электронно-лучевого испарения с ионной очисткой поверхности мишени и ионным ассистированием на установке ВУ-2МИ (Беларусь).

I. ПРОСВЕТЛЯЮЩИЕ ПОКРЫТИЯ

Просветляющие покрытия увеличивают пропускание через элемент вследствие уменьшения потерь на естественное Френелевское отражение, всегда присутствующее на границах сред с разными показателями преломления. Просветляющие покрытия чаще всего применяются для линз, окон, призм и стержней. Тидекс предлагает следующие виды просветляющих покрытий: однослойное покрытие на основе MgF_2 , V-образное покрытие на одну длину волны, широкополосное просветляющее покрытие, просветляющее покрытие на две длины волны и V-образное покрытие для ИК диапазона.

1. Однослойное покрытие на основе MgF_2

Возможно, самое простое и наименее дорогое просветляющее покрытие состоит из одного слоя фторида магния (MgF_2). Так как MgF_2 имеет очень низкий показатель преломления (приблизительно 1.38 на длине волны 550 нм), то при нанесении на обычное оптическое стекло (показатель преломления 1.45-1.85) слоя данного материала толщиной в четверть длины волны проявляются привлекательные просветляющие свойства. Один слой покрытия на основе MgF_2 позволяет уменьшить потери на Френелевское отражение с типично 4% (без покрытия) до менее 1% (с покрытием). Покрытие MgF_2 может быть также оптимизировано на определенную длину волны. Например, в случае покрытия MgF_2 , предназначенного для уменьшения Френелевского отражения в широком диапазоне 400-700 нм, наименьшие потери будут обычно достигаться на центральной длине волны 550 нм. Естественно, если Френелевские потери необходимо уменьшить до уровня 0.5% или менее, то следует использовать многослойные покрытия, описанные ниже.

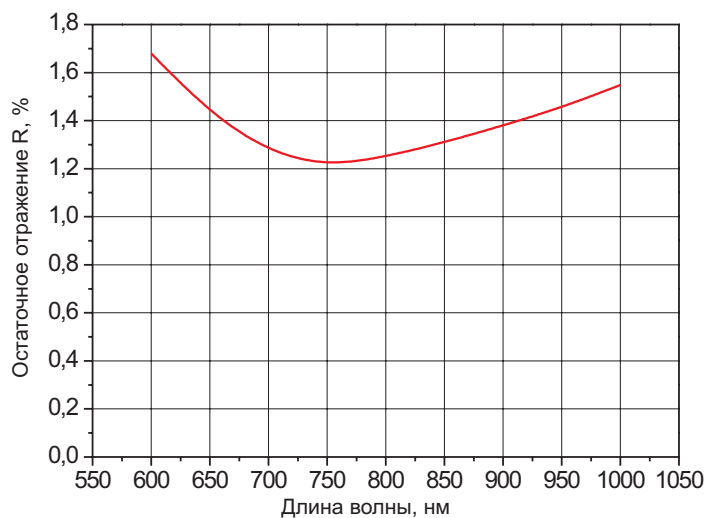


Рис. I-1 Однослойное просветляющее покрытие MgF_2 на диапазон длин волн 600-1000нм, угол падения 0° .

Диапазон длин волн, нм	Остаточное отражение от одной поверхности, %	Угол падения, угл. град.	Порог повреждения, Дж/см ² , 10 нс импульс
400-700	≤ 2.0	0	2
600-1000	≤ 2.0	0	2



TYDEX[®]
J.S.CO.

Домостроительная ул. 16, 194292 С.-Петербург, РОССИЯ
Тел: 7-812-3346701, -3318702; Факс: 7-812-3346702
E-mail: tydex@tydex.ru, URL: <http://www.tydex.ru>

2. V-образное просветляющее покрытие на одну длину волны

V-образные просветляющие многослойные покрытия позволяют достигать чрезвычайно низких Френелевских потерь на определенных длинах волн, обычно генерируемых лазерами. Обозначение «V» происходит от формы кривой остаточного отражения, которая характеризуется V-образной ступенькой (в противоположность однослойному MgF_2 покрытию, когда кривая похожа на очень пологую «U»).

Стандартное значение потерь на отражение от каждой поверхности для V-образного покрытия менее 0.25%. Достижение величины $\leq 0.1\%$ также возможно по специальному запросу.

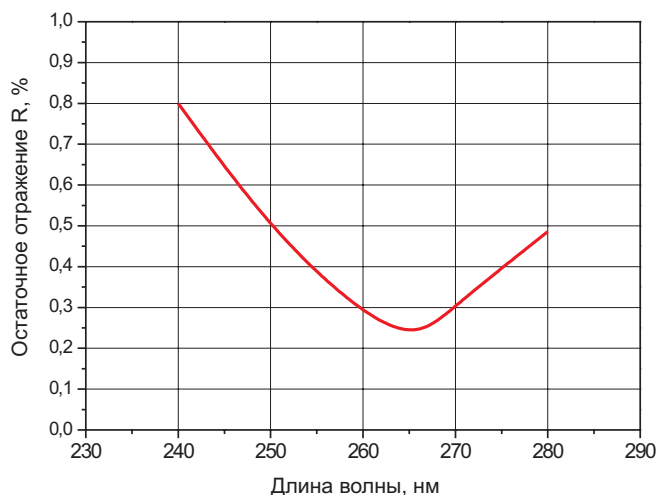


Рис. I-2-1 Просветляющее покрытие на 266 нм, угол падения 0° .

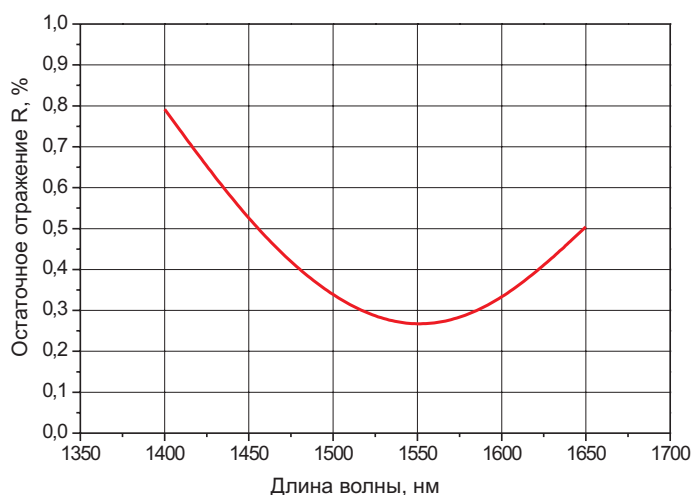


Рис. I-2-2 Просветляющее покрытие на 1550 нм, угол падения 0° .

Длина волны, нм	Остаточное отражение от одной поверхности, %	Угол падения, угл. град.	Порог повреждения, Дж/см ² , 10 нс импульс
248	<0.25	0	2
266	<0.25	0	2
308	<0.25	0	3
337	<0.25	0	3
355	<0.25	0	3
488	<0.25	0	4
532	<0.25	0	4
633	<0.25	0	4
670	<0.25	0	4
780	<0.25	0	4
1064	<0.25	0	4
1310	<0.25	0	4
1550	<0.25	0	4
2100	<0.3	0	4



TYDEX[®]
J.S.CO.

Домостроительная ул. 16, 194292 С.-Петербург, РОССИЯ
Тел: 7-812-3346701, -3318702; Факс: 7-812-3346702
E-mail: tydex@tydex.ru, URL: http://www.tydex.ru

Покрyтия

3. Широкополосное просветляющее покрытие

Для широкополосного просветляющего покрытия используются многослойные структуры, обычно состоящие из чередующихся слоев двух материалов с разными показателями преломления, которые позволяют достигнуть лучших показателей в широком диапазоне длин волн по сравнению с однослойным просветляющим покрытием.

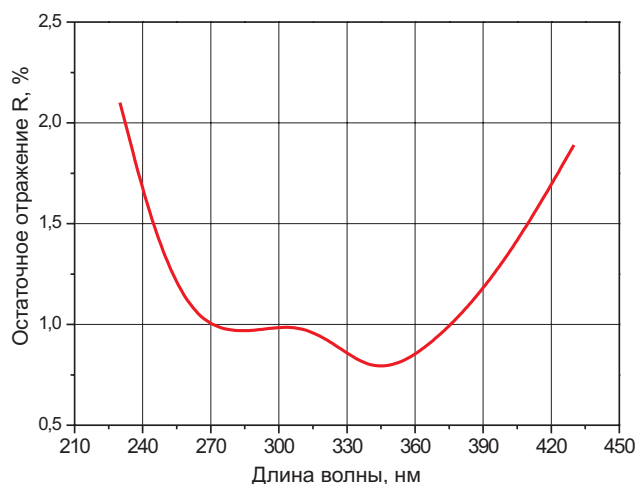


Рис. I-3-1 Просветляющее покрытие на диапазон 250-420 нм, угол падения 0°.

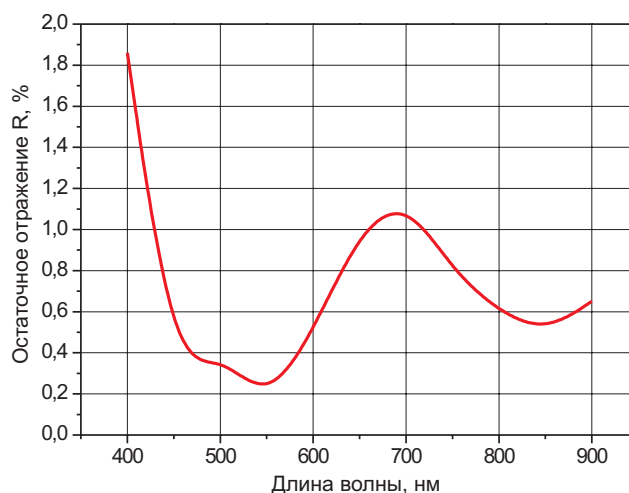


Рис. I-3-2 Просветляющее покрытие на диапазон 425-675 нм, угол падения 0°.

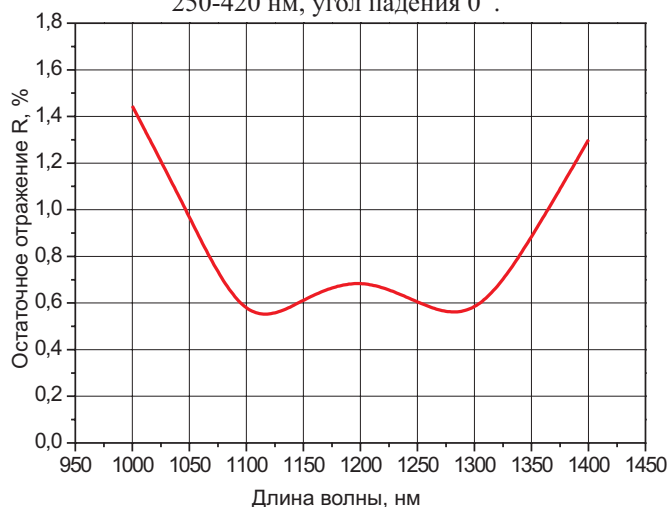


Рис. I-3-3 Просветляющее покрытие на диапазон 1000-1400 нм, угол падения 0°.

Диапазон длин волн, нм	Среднее остаточное отражение на поверхность, %	Угол падения, угл. град.	Порог повреждения, Дж/см ² , 10 нс импульс
250-420	<=1.4	0	2
425-675	<=0.45	0	3
400-700	<=0.5	0	3
400-900	<=1.0	0	3
600-900	<=0.5	0	4
700-1100	<=0.5	0	4
1000-1400	<=0.7	0	4
1500-1800	<=0.6	0	3



TYDEX[®]
J.S.C.O.

Домостроительная ул. 16, 194292 С.-Петербург, РОССИЯ
Тел: 7-812-3346701, -3318702; Факс: 7-812-3346702
E-mail: tydex@tydex.ru, URL: http://www.tydex.ru

4. Двух- и трёх-полосные просветляющие покрытия

Двух-полосные просветляющие многослойные покрытия требуются, когда оптические компоненты должны обеспечивать очень высокое пропускание на двух различных длинах волн.

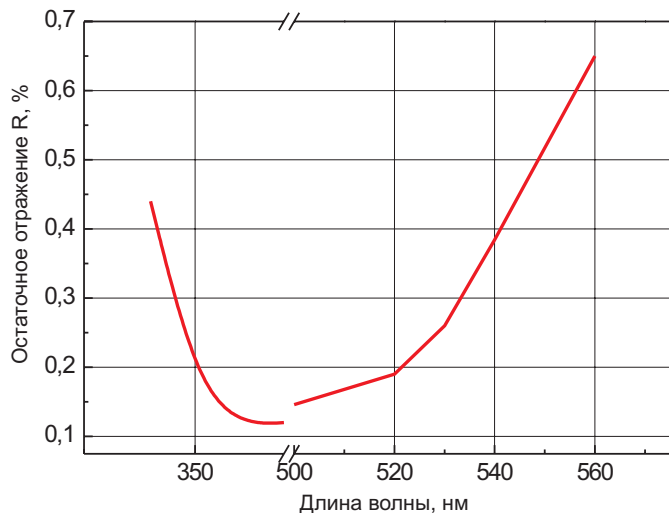


Рис. I-4-1 Просветляющее покрытие для 355 и 532 нм, угол падения 0°.

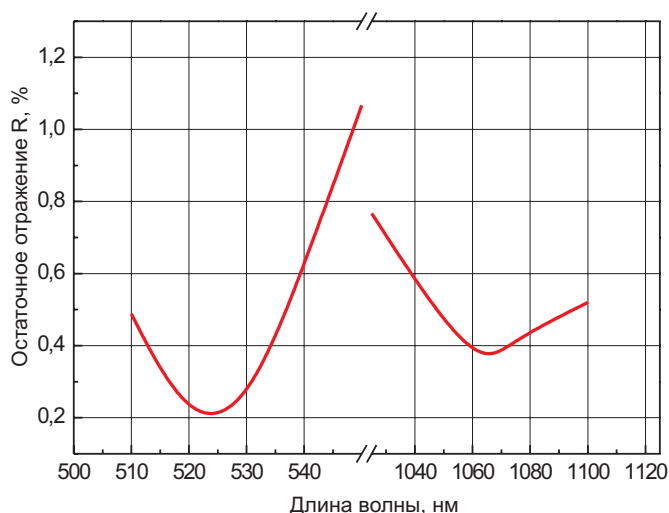
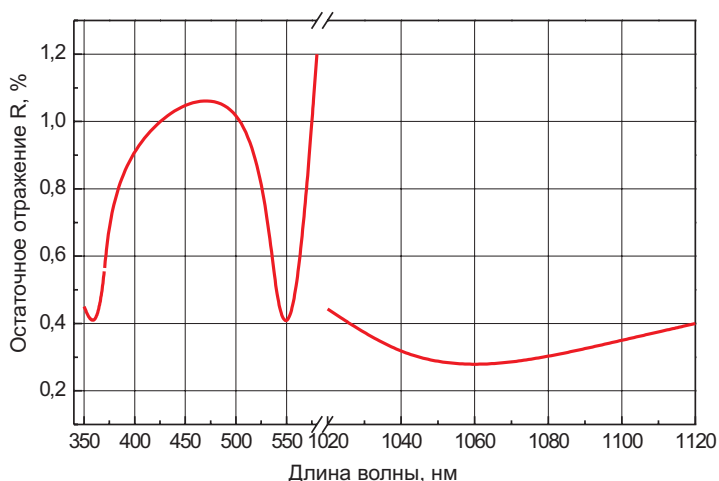


Рис. I-4-2 Просветляющее покрытие для 532 и 1064 нм, угол падения 0°.

Длины волн, нм	Максимальное остаточное отражение, %	Угол падения, угл. град.	Порог повреждения, Дж/см ² , 10 нс импульс
266 и 355	≤1.4	0	3
266 и 532	≤0.45	0	3
355 и 532	≤0.25 и ≤0.5, соответственно	0	4
400 и 800	≤0.5	0	4
532 и 1064	≤0.5	0	5

Аналогично, трёх-диапазонные просветляющие покрытия улучшают оптическое пропускание одновременно на трёх различных длинах волн. Обычно такие покрытия используются в YAG-лазерах, где необходимо обеспечить прохождение фундаментальной длины волны, а также излучения второй и третьей гармоник через один и тот же оптический элемент с высокой эффективностью.



Длина волны, нм	355, 532 и 1064
Максимальное остаточное отражение, %	≤0.5 для каждой длины волны
Угол падения, угл. град.	0
Порог повреждения, Дж/см ² , 10 нс импульс	4

Рис I-4-3. Просветляющее покрытие для 355, 532 и 1064 нм, угол падения 0°.



TYDEX[®]
J.S.CO.

Домостроительная ул. 16, 194292 С.-Петербург, РОССИЯ
Тел: 7-812-3346701, -3318702; Факс: 7-812-3346702
E-mail: tydex@tydex.ru, URL: http://www.tydex.ru

Покрyтия

5. V-образное инфракрасное просветляющее покрытие на одну длину волны

Хотя Тидекс может поставлять просветляющие покрытия на почти любую длину волны ИК диапазона, но наиболее часто запрашиваемым является покрытие на 10.6 микрона для CO₂ лазеров - “рабочей лошади” лазерной индустрии. Тидекс предлагает покрытия с малыми потерями, до 0.25%, которые подходят для использования в фокусирующих линзах и окнах для относительно маломощных CO₂ лазеров.

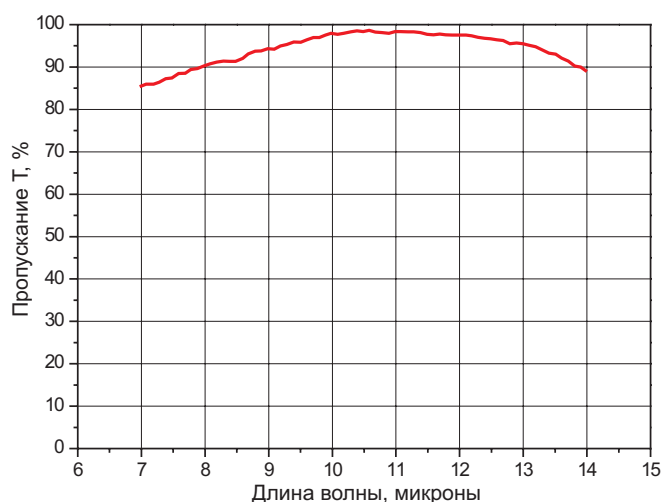


Рис. I-5-1 Просветляющее покрытие на 10.6 микрона на подложке из ZnSe, угол падения 0°.

Материал подложки/ Длина волны, микроны	Максимальное остаточное отражение, %	Угол падения, угл. град.	Порог повреждения, кВт/см ² , непрерывный режим
ZnSe/10.6	<=0.5	0	1
GaAs/10.6	<=0.5	0	Нет сведений

6. Широкополосное инфракрасное просветляющее покрытие

Тидекс предлагает очень большой выбор широкополосных инфракрасных просветляющих покрытий для таких применений, как пирометрия и термография, в популярных диапазонах 3-5 и 7-14 микрон. Покрытия могут быть нанесены на различные виды подложек. Широкополосные просветляющие покрытия для ИК диапазона также широко применяются в Фурье спектроскопии. Нижеследующие величины пропускания приведены для окон толщиной 2.0 мм. Пороги повреждения данных покрытий не приводятся, так как в основном они не применяются в приложениях с высокой интенсивностью.

Материал подложки/Диапазон длин волн, микроны	Среднее пропускание, %	Угол падения, угл. град.
ZnSe/3-12	>95	0
ZnSe/7-14	>97	0
Ge/7-14	>97	0
Ge/3-5 и 8-12	>96	0
Ge/2-20	>95	0
Si/2-6	>91	0
Si/3-5	>93	0



TYDEX[®]
J.S.C.O.

Домостроительная ул. 16, 194292 С.-Петербург, РОССИЯ
Тел: 7-812-3346701, -3318702; Факс: 7-812-3346702
E-mail: tydex@tydex.ru, URL: http://www.tydex.ru

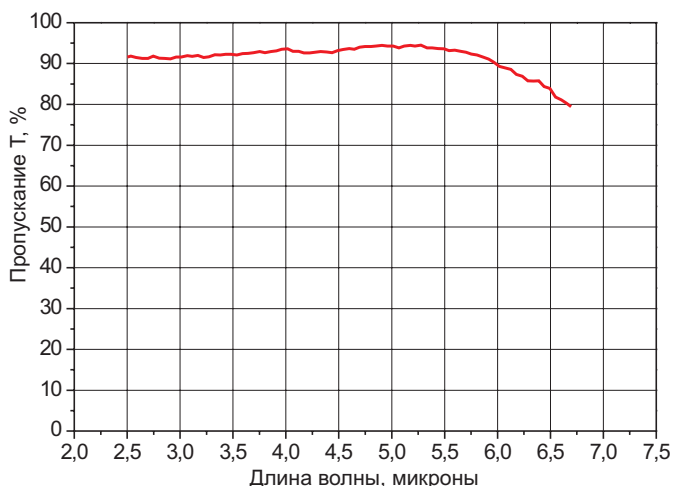


Рис. I-6-1 Просветляющее покрытие на 2-6 микрон на подложке из Si, угол падения 0° .

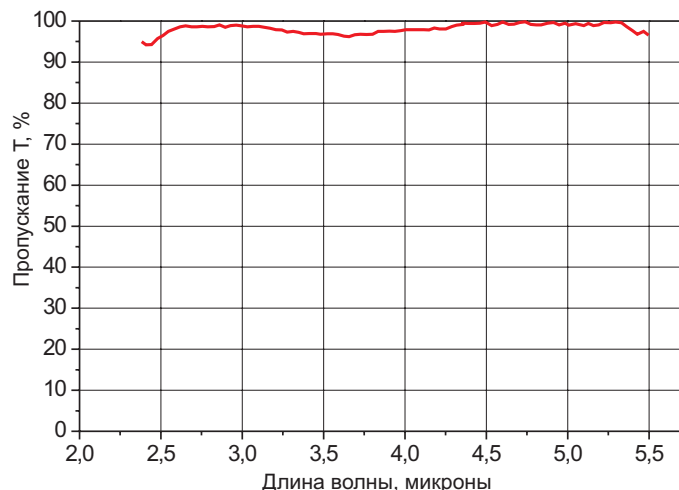


Рис. I-6-2 Просветляющее покрытие на 3-5 микрон на подложке из ZnSe, угол падения 0° .

7. Двухполосное инфракрасное просветляющее покрытие

Очень часто при использовании промышленных CO_2 лазеров в целях визуализации ИК луча необходимо осуществить прохождение его и видимого излучения вдоль одного оптического пути. Для данного применения, особенно в связи с тем, что Френелевские потери от непокрытого ZnSe очень высоки, покрытие одновременно прозрачное для видимого и CO_2 лазеров является большим преимуществом. Стандартные покрытия, используемые Тидексом в данной области, приведены ниже.

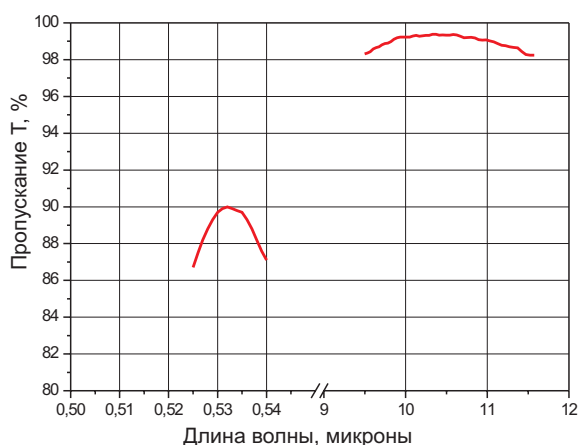


Рис. I-7-1 Просветляющее покрытие на 532 нм и 10,6микрона на ZnSe, угол падения 0° .

Материал подложки/ Длины волн, микроны	ZnSe/0.532 и 10.6	ZnSe/0.633 и 10.6
Максимальное остаточное отражение, %	<0.5	<0.5
Угол падения, угл. град.	0	0
Порог повреждения, кВт/см ² , непрерывный режим	1	1

II. ВЫСОКООТРАЖАЮЩИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЗЕРКАЛЬНЫЕ ПОКРЫТИЯ

Высокоотражающие зеркальные покрытия состоят из нескольких слоев диэлектрических материалов (т.е. не металлов, которые используются обычно). Они проектируются для достижения максимально возможного отражения, обычно на определенной длине волны. Хотя эти покрытия, как правило, моделируются на угол падения 0 или 45 градусов, они могут быть оптимизированы под почти любой угол.

1. Лазерные высокоотражающие покрытия

Этот тип многослойных диэлектрических покрытий часто применяется в лазерах, где требуется малый уровень рассеяния. Типичная величина отражения для S-поляризации больше, чем 99.5 %, а для P-поляризации больше, чем 99%.



TYDEX[®]
J.S.CO.

Домостроительная ул. 16, 194292 С.-Петербург, РОССИЯ
Тел: 7-812-3346701, -3318702; Факс: 7-812-3346702
E-mail: tydex@tydex.ru, URL: http://www.tydex.ru

Покрyтия

Длина волны, нм	Коэффициент отражения, %	Угол падения, угл. град.	Тип поляризации	Порог повреждения, Дж/см ² , 10 нс импульс
248	≥99.5	0, 45	S	2
	≥99.0	45	P, непол.	
266	≥99.5	0, 45	S	2
	≥99.0	45	P, непол.	
308	≥99.5	0, 45	S	2
	≥99.0	45	P, непол.	
337	≥99.5	0, 45	S	2.5
	≥99.0	45	P, непол.	
355	≥99.5	0, 45	S	2.5
	≥99.0	45	P, непол.	
532	≥99.5	0, 45	S	3.5
	≥99.0	45	P, непол.	
633	≥99.5	0, 45	S	4
	≥99.0	45	P, непол.	
1064	≥99.5	0, 45	S	5
	≥99.0	45	P, непол.	
1550	≥99.5	0, 45	S	3
	≥99.0	45	P, непол.	
2100	≥99.0	0, 45	S	2.5
	≥98.5	45	P, непол.	
10600	≥99.0	0	S, P, непол.	1 кВт/см ² , непрерывный режим

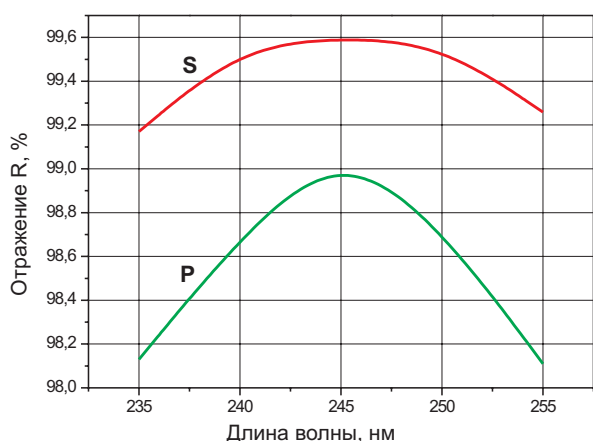


Рис. П-1-1 Высокоотражающее покрытие на 248 нм для S- и P-поляризации, угол падения 45°.

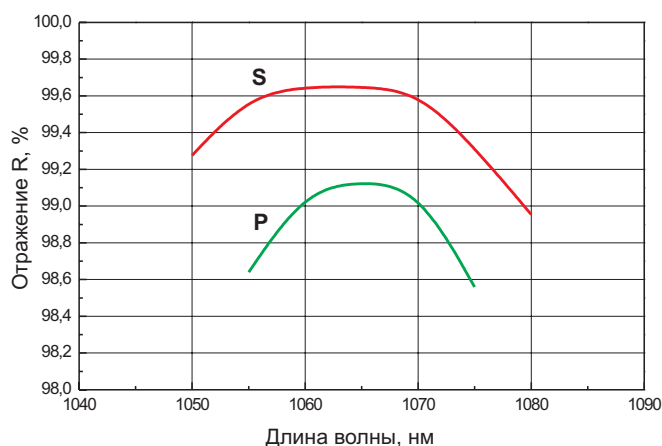


Рис. П-1-2 Высокоотражающее покрытие на 1064 нм для S-и P-поляризации, угол падения 45°.

2. Высокоотражающее покрытие на две длины волны

Тидекс достиг значительных успехов в изготовлении двух-волновых отражателей также, как и другой оптики для YAG-лазеров. Это является следствием высокого уровня развития технологии производства YAG-лазеров в России. Наши двух-волновые зеркала на 1064 и 532 нм были испытаны и не в чем не уступали аналогичным продуктам американских и европейских компаний, однако обладают более низкой стоимостью. Столь значительные достижения стали возможны благодаря умению специалистов компании Тидекс, продвинувших электроннолучевые технологии к их пределу.



TYDEX[®]
J.S.CO.

Домостроительная ул. 16, 194292 С.-Петербург, РОССИЯ
Тел: 7-812-3346701, -3318702; Факс: 7-812-3346702
E-mail: tydex@tydex.ru, URL: http://www.tydex.ru

Длина волны, нм	Коэффициент отражения, %	Угол падения, угл. град.	Тип поляризации	Порог повреждения, Дж/см ² , 10нс импульс
355 + 532	>=99.0 и >=99.5 соответственно	0	Произвольная	3
532 + 1064	>=99.5 для каждой длины	0	Произвольная	4

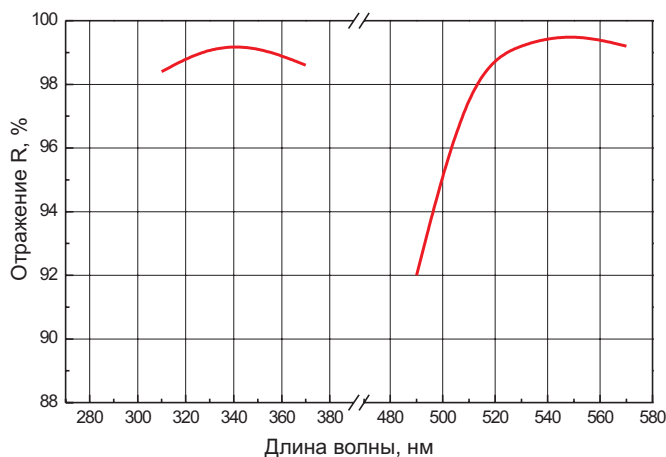


Рис. П-2-1 Зависимость отражения от длины волны для высоко-отражающего покрытия. $R > 99\%$ на 355 нм и $R > 99.5\%$ на 532 нм, угол падения 0° .

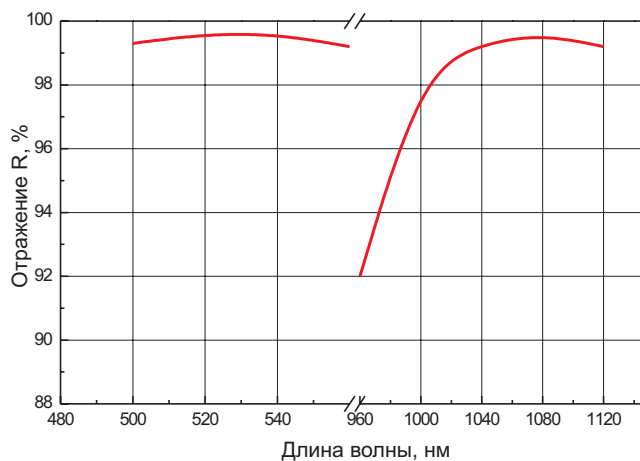


Рис. П-2-2 Зависимость отражения от длины волны для высоко-отражающего покрытия. $R > 99.5\%$ на 532 нм и 1064 нм, угол падения 0° .

3. Широкополосные высоко-отражающие покрытия

Хотя широкополосные высоко-отражающие покрытия могут быть металлическими или диэлектрическими, ниже представляется диэлектрический вариант. Металлические покрытия представлены в разделе VI.

Диапазон длин волн, нм	Среднее отражение, %	Угол падения, угл. град.	Порог повреждения, Дж/см ² , 10нс импульс
260-340	>=99.0	0, 45	2
350-450	>=99.0	0, 45	2
700-900	>=99.0	0, 45	4
900-1100	>=99.0	0, 45	4

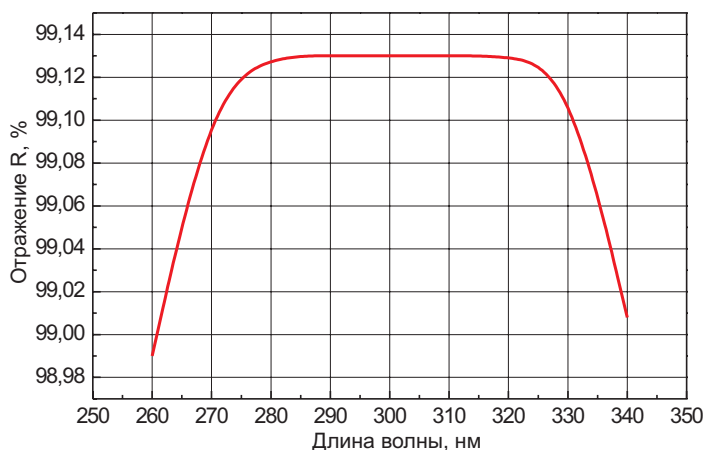


Рис. П-3-1 Высоко-отражающее покрытие на диапазон 260-340 нм, угол падения 0° .

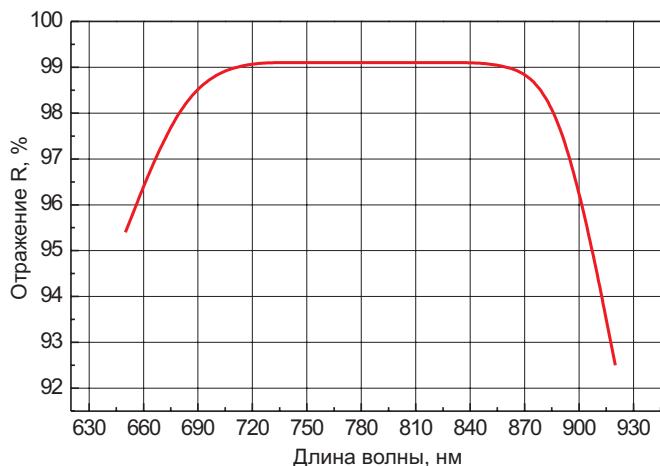


Рис. П-3-2 Высоко-отражающее покрытие на диапазон 700-900 нм, угол падения 0° .



TYDEX[®]
J.S.CO.

Домостроительная ул. 16, 194292 С.-Петербург, РОССИЯ
Тел: 7-812-3346701, -3318702; Факс: 7-812-3346702
E-mail: tydex@tydex.ru, URL: http://www.tydex.ru

III. ЧАСТИЧНО-ОТРАЖАЮЩИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ

Эти многослойные диэлектрические покрытия выполняют специальную функцию деления луча. Возможно, самым востребованным применением таких покрытий являются выходные элементы лазерных резонаторов.

1. Лазерные частично-отражающие покрытия

Частично-отражающие покрытия для выходных резонаторных зеркал лазеров позволяют выводить из резонатора максимально возможную мощность излучения, поддерживая при этом стоячую волну внутри резонатора на необходимом уровне.

Одним из важных параметров частично отражающих покрытий является допуск на точность параметров разделения излучения, т.е. на отношение отражения к пропусканию. Например, инженер может спроектировать лазерный резонатор, требующий выходной элемент с 40% пропусканием и 60% отражением. Однако покрытие может быть изготовлено со стандартным допуском $\pm 4\%$. Это означает, что изготовленная деталь может иметь коэффициент деления от 36%T/64%R до 44%T/56%R. Стандартные значения допусков, представленные в таблице ниже, могут быть уменьшены, естественно, за дополнительные деньги.

Стандартное отражение на выбранной длине волны:

- 10% $\pm 2\%$
- 15% $\pm 2\%$
- 20% $\pm 3\%$
- 30% $\pm 3\%$
- 40% $\pm 4\%$
- 50% $\pm 5\%$
- 60% $\pm 4\%$
- 70% $\pm 4\%$
- 80% $\pm 3\%$
- 90% $\pm 3\%$
- 95% $\pm 2\%$
- 98% $\pm 1\%$
- 99% $\pm 0.5\%$

Длина волны, нм	Угол падения, угл. град.	Порог повреждения, Дж/см ² , 10нс импульс
248	0, 45	2
266	0, 45	2
308	0, 45	2
337	0, 45	2.5
355	0, 45	2.5
532	0, 45	3.5
633	0, 45	4
1064	0, 45	5
1550	0, 45	3
10600	0	1 кВт/см ² , непрерывный режим

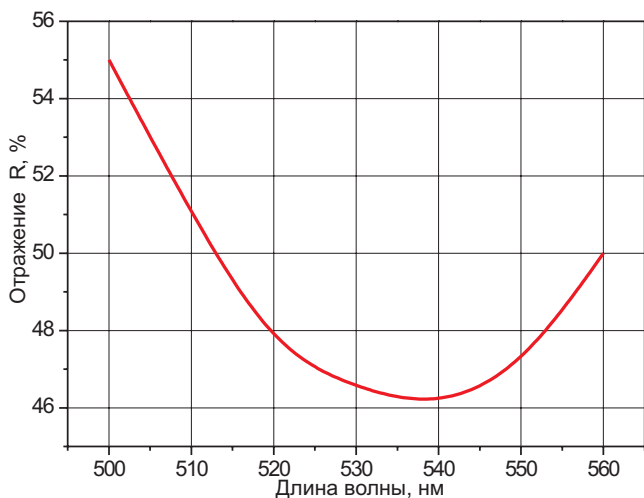


Рис. III-1-1 Светоделительное покрытие $R=(50\pm 5)\%$ на 532 нм, угол падения 0° .

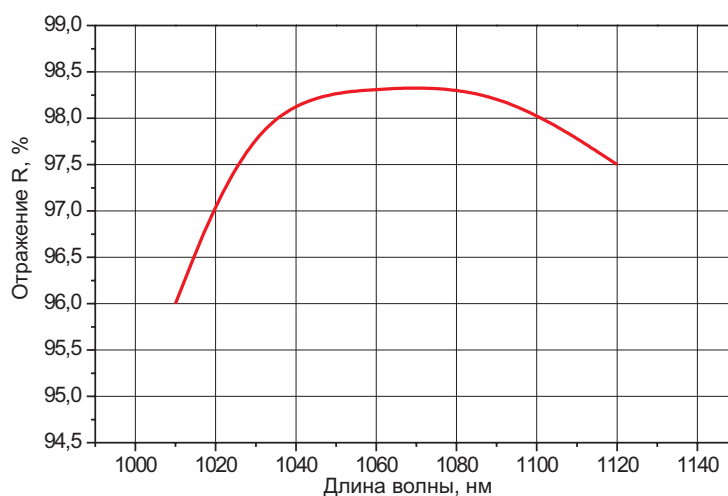


Рис. III-1-2 Светоделительное покрытие $R=(98\pm 1)\%$ на 1064 нм, угол падения 0° .



2. Широкополосные частично-отражающие покрытия

Аналогично, частично-отражающие покрытия имеются для широкополосных применений. Типичным приложением является делитель луча, используемый в видимых изображающих системах, где свет от объекта может расщепляться в соотношении 70/30, при котором 70% попадает в глаз наблюдателя, а оставшиеся 30% - в видеокамеру.

Диапазон длин волн, нм	Отражение, %	Угол падения, угл. град.	Порог повреждения, Дж/см ² , 10нс импульс
470-520	70±4	0, 45	3.5
700-900	92±4	0, 45	4.5
1500-1800	80±4	0, 45	3

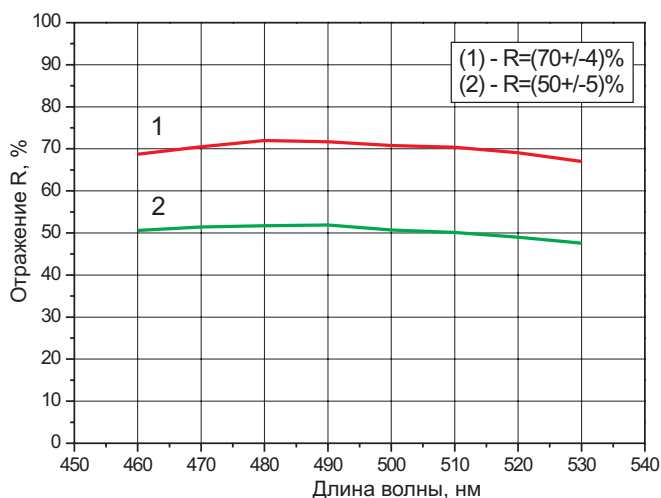


Рис. III-2-1 Светоделительное покрытие на 470-520 нм для S- и P-поляризации, угол падения 45°.

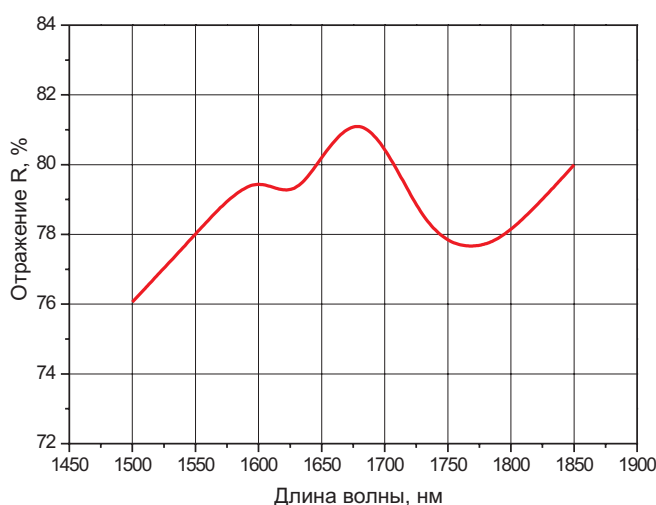


Рис. III-2-2 Светоделительное покрытие R=(80 +/-4)% на 1500-1800 нм, угол падения 0°.

IV. РАЗДЕЛЯЮЩИЕ/КОМБИНИРУЮЩИЕ ПОКРЫТИЯ

Очень часто необходимо отделить излучение лазерных гармоник от их фундаментальной длины волны или скомбинировать различные длины волн так, чтобы они прошли вдоль одного оптического пути. Эти специальные функции достигаются путём нанесения многослойных покрытий, приводящих к созданию элементов, называемых разделителями и устройствами сведения луча, соответственно.

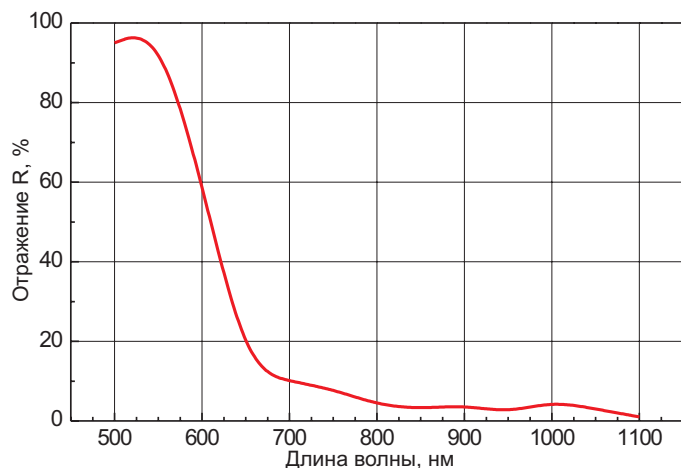


Рис. IV-1 Высокоотражающее покрытие на 532 нм и просветляющее покрытие на 1064 нм, угол падения 45°, неполяризованное излучение.

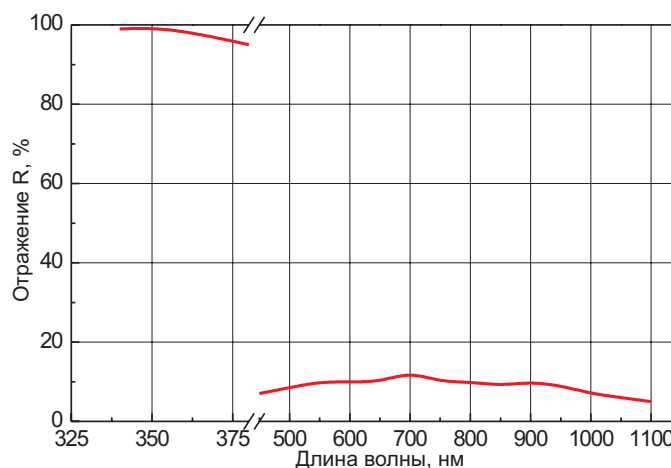


Рис. IV-2 Высокоотражающее покрытие на 355 нм и просветляющее просветление на 532 и 1064 нм, угол падения 0°.



TYDEX[®]
J.S.CO.

Домостроительная ул. 16, 194292 С.-Петербург, РОССИЯ
Тел: 7-812-3346701, -3318702; Факс: 7-812-3346702
E-mail: tydex@tydex.ru, URL: http://www.tydex.ru

Покрyтия

Длины волн R/T, нм	Минимальное отражение, %	Минимальное пропускание, %	Угол падения, угл. град.	Порог повреждения, Дж/см ² , 10нс импульс
532/1064	99	93	0,45	3
355/532 & 1064	99	90 и 92, соотв.	0,45	3
800/400	99	90	0,45	3
1064/808	99	93	0,45	3

V. ГОРЯЧИЕ/ХОЛОДНЫЕ ЗЕРКАЛА

Так называемые «горячие» зеркала отражают инфракрасное излучение, пропуская видимое. «Холодные» зеркала наоборот отражают видимое излучение, пропуская инфракрасное. Горячие и холодные зеркала часто применяются в проекционных системах для уменьшения нагревания от видимого луча.

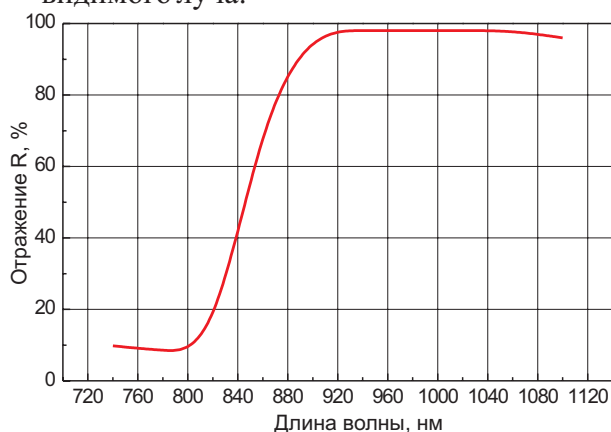


Рис. V-1 "Горячее" зеркало на диапазон 740-820/900-1100 нм, угол падения 0°.

Тип зеркала	Диапазон длин волн отражения/пропускания, нм	Среднее отражение, %	Среднее пропускание, %	Угол падения, угл. град.	Порог повреждения, Дж/см ² , 10нс импульс
Горячее	890-1090/ 740-820	98	90	0,45	3
Горячее	700-1050/ 400-630	98	85	0,45	3
Холодное	420-650/ 750-1130	98	85	0,45	3

VI. МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ПОКРЫТИЯ

Металлические покрытия используются в приложениях, где необходимо достигать высокой степени отражения в очень широком диапазоне длин волн. Отражение металлических покрытий меньше меняется в зависимости от степени поляризации и угла падения излучения, чем это имеет место для диэлектрических покрытий, но металлические покрытия имеют тенденцию к большим потерям.

Алюминиевые покрытия широко используются благодаря отличному отражению практически во всем оптическом спектре от УФ до ИК. Алюминий - единственный металл, используемый для зеркал в ГУФ диапазоне.

1. Алюминиевое покрытие с защитой

Алюминий дополнительно покрывается одним диэлектрическим слоем, который защищает мягкий металл от окисления и царапин.



TYDEX[®]
J.S.C.O.

Домостроительная ул. 16, 194292 С.-Петербург, РОССИЯ
Тел: 7-812-3346701, -3318702; Факс: 7-812-3346702
E-mail: tydex@tydex.ru, URL: http://www.tydex.ru

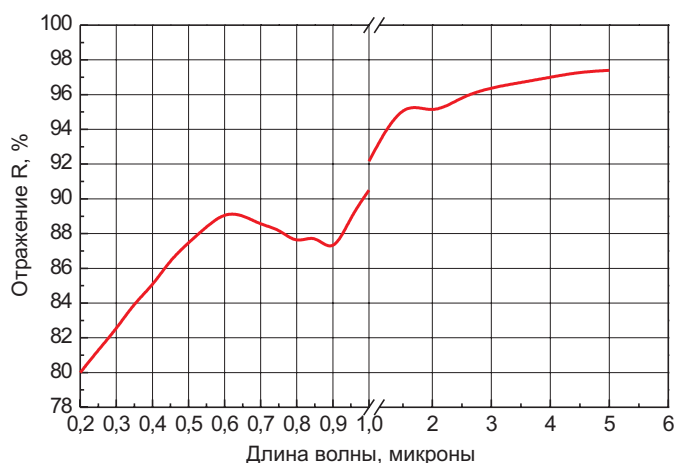


Рис. VI-1 Алюминиевое покрытие с защитой для диапазона 0.2-10 микрон.

2. Усиленное алюминиевое покрытие

Алюминий дополнительно покрывается несколькими диэлектрическими слоями, увеличивающими отражение металлического покрытия в требуемом поддиапазоне длин волн.

Тип покрытия	Диапазон длин волн, нм	Среднее отражение, %	Порог повреждения, Дж/см ² , 50нс импульс
Усиленное в УФ	250-600	>85	1
Усиленное в видимой области	400-700	>92	1

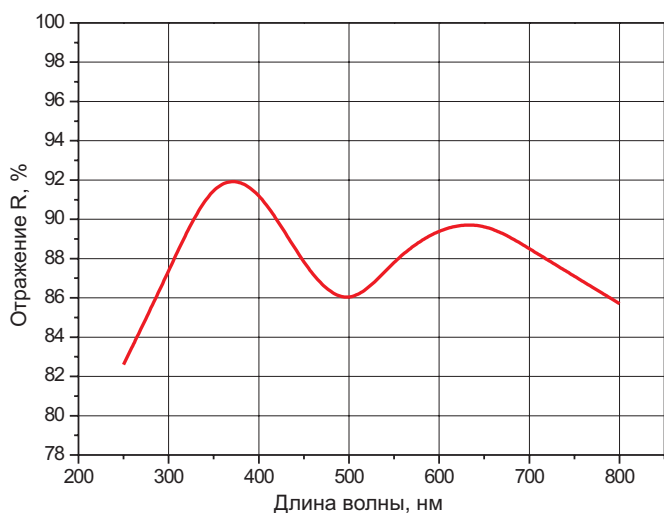


Рис. VI-2-1 Усиленное в УФ алюминиевое покрытие.

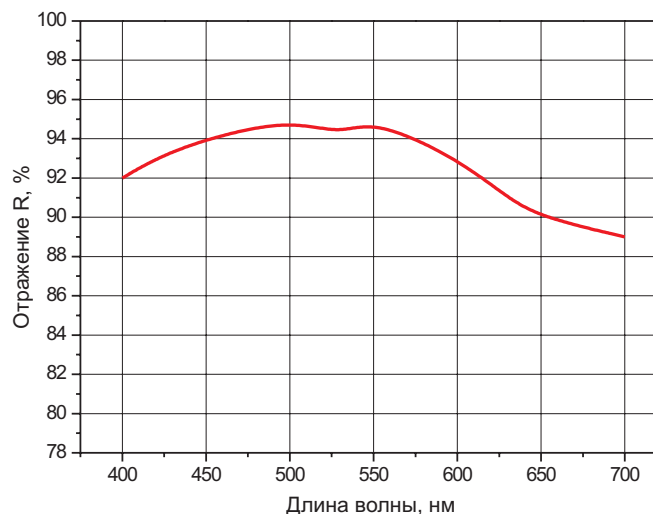


Рис. VI-2-2 Усиленное в видимой области алюминиевое покрытие.

Серебро предпочтительно в видимом и ближнем ИК диапазонах. Серебряные покрытия имеют более высокий порог повреждения, чем алюминиевые покрытия. Обычно серебро защищается и/или усиливается дополнительными диэлектрическими слоями.



TYDEX[®]
J.S.CO.

Домостроительная ул. 16, 194292 С.-Петербург, РОССИЯ
Тел: 7-812-3346701, -3318702; Факс: 7-812-3346702
E-mail: tydex@tydex.ru, URL: http://www.tydex.ru

Покрyтия

3. Серебряное покрытие с защитой

Диапазон длин волн, микроны	Среднее отражение, %	Порог повреждения, Дж/см ² , 50нс импульс
0.4-10	>95	2-3
0.532 и 0.633, и 10.6	> 97 на 0.4-0.7 микрона >=99.0 на 10.6 микрон	2-3

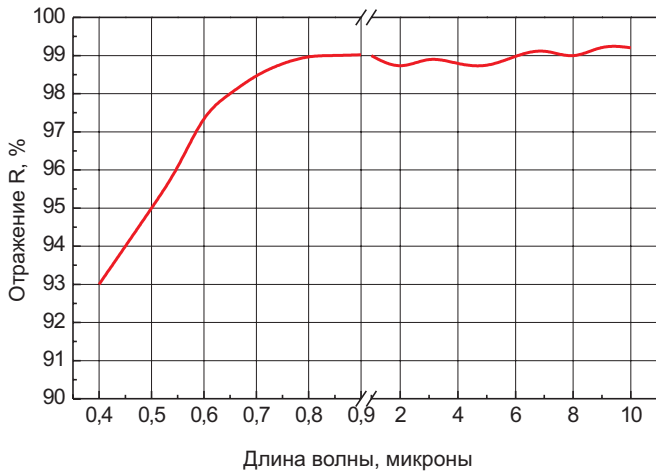


Рис. VI-3 Защищенное серебряное покрытие в диапазоне 400-10000 нм.

4. Усиленное серебряное покрытие

Тип покрытия	Диапазон длин волн, нм	Среднее отражение, %	Порог повреждения, Дж/см ² , 50нс импульс
Усиленное в видимой области	400-700	>97	2-3
Усиленное в ближнем ИК диапазоне	700-900	>97	2-3

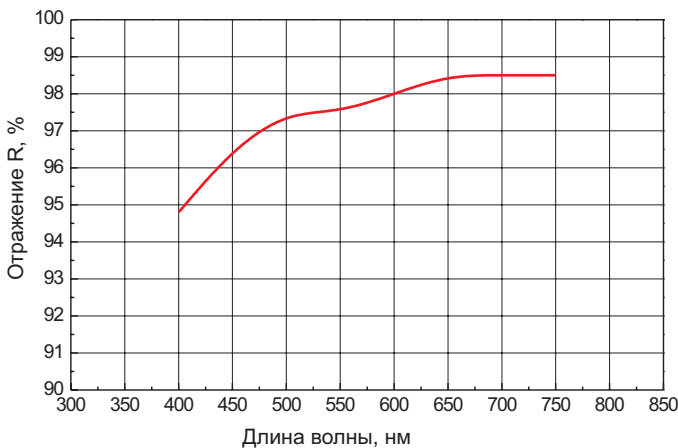


Рис. VI-4-1 Усиленное в видимой области серебряное покрытие.

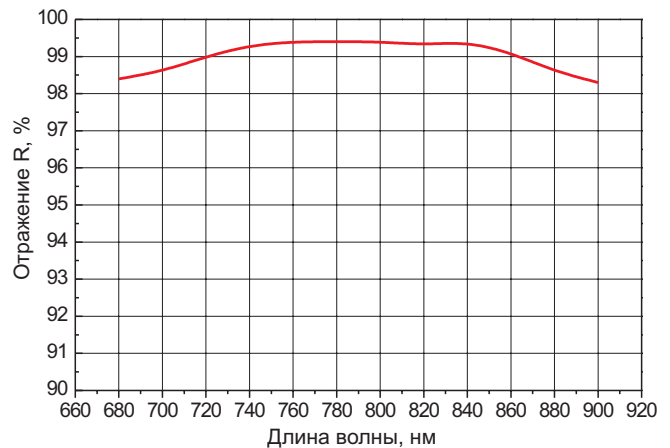


Рис. VI-4-2 Усиленное в ближней ИК области серебряное покрытие.

Золотые покрытия используются преимущественно для ближнего, среднего и дальнего инфракрасного диапазонов. Золото начинает хорошо отражать с 600 нм и выше.



TYDEX[®]
J.S.C.O.

Домостроительная ул. 16, 194292 С.-Петербург, РОССИЯ
Тел: 7-812-3346701, -3318702; Факс: 7-812-3346702
E-mail: tydex@tydex.ru, URL: http://www.tydex.ru

5. Золотое незащищенное покрытие

Незащищенное золото мягкое и очень легко царапается, но отсутствие защитных слоёв позволяет избежать нежелательной интерференции, которая может исказить результаты измерений, проводимых на спектроскопических приборах, работающих в очень широком диапазоне длин волн.

Подобно алюминию и серебру, золото обычно защищается и/или усиливается добавлением диэлектрических слоев. Заметим, однако, что незащищенное золото имеет слегка большее среднее отражение, чем защищенный металл.

Диапазон длин волн, микроны	Среднее отражение, %	Порог повреждения, Дж/см ² , 50нс импульс
0.6-10	>98.5	2-3

6. Защищенное золотое покрытие

Диапазон длин волн, микроны	Среднее отражение, %	Порог повреждения
0.6-10	>98	2-3 Дж/см ² , 50нс импульс
0.532, 0.633, 10.6	>=50 для видимого диапазона >=99.0 для 10.6 микрон	1 Дж/см ² , 10нс импульс 2 кВт/см ² , непрерывный режим

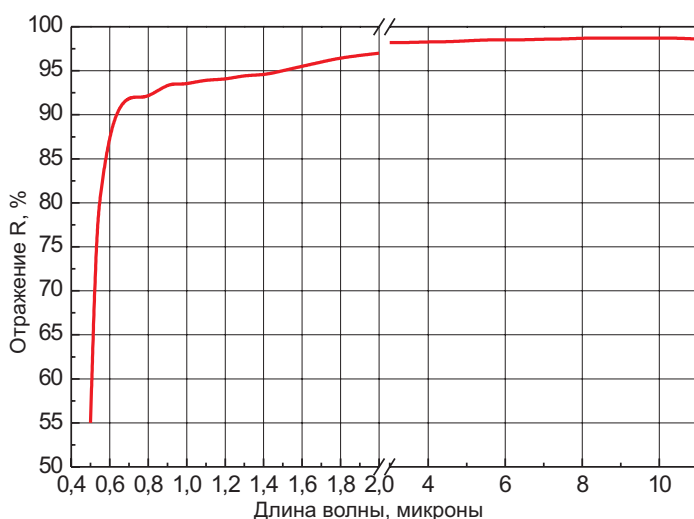


Рис. VI-6 Защищенное золотое покрытие.

7. Усиленное золотое покрытие

Диапазон длин волн, микроны	Среднее отражение, %	Порог повреждения
0.532, 0.633, 10.6	>70 для видимого диапазона >=99.2 для 10.6 микрон	1 Дж/см ² , 10нс импульс 2 кВт/см ² , непрерывный режим



TYDEX[®]
J.S.CO.

Домостроительная ул. 16, 194292 С.-Петербург, РОССИЯ
Тел: 7-812-3346701, -3318702; Факс: 7-812-3346702
E-mail: tydex@tydex.ru, URL: http://www.tydex.ru

Покрyтия

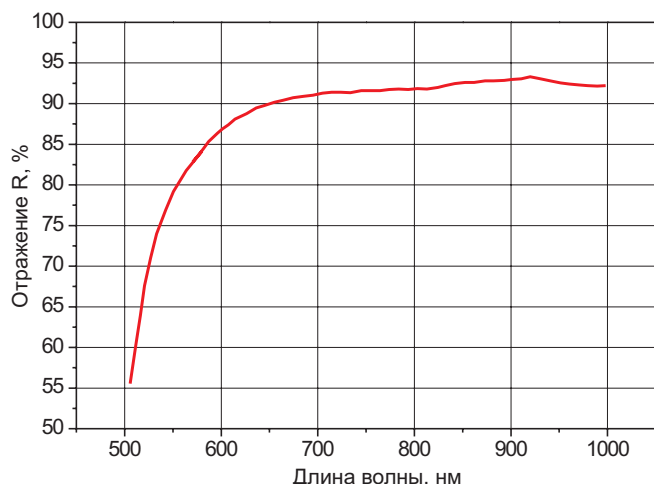


Рис. VII-7-1 Усиленное золотое покрытие на 532 нм.

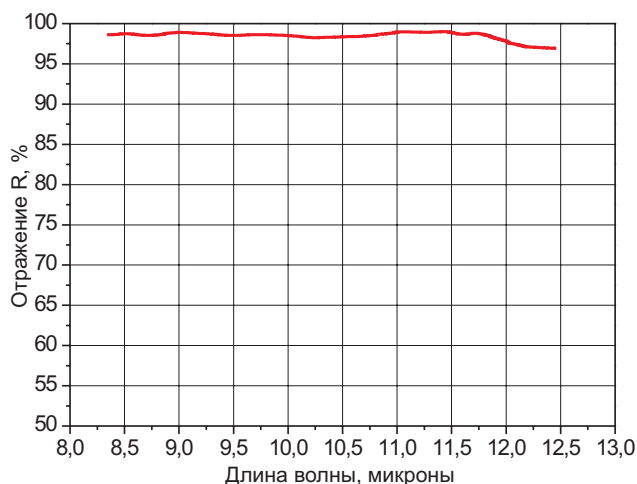


Рис. VII-7-2 Усиленное золотое покрытие на 10.6 микрона.

Следующий рисунок обобщает характеристики разных видов металлических покрытий, упомянутых выше.

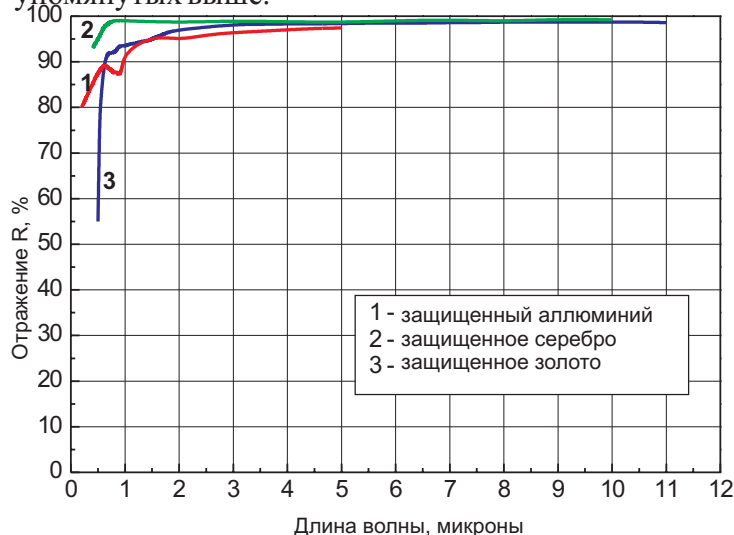


Рис. VII-7-3 Сравнительный график для металлических покрытий.

VII. ВЫСОКОПРОЧНОЕ УГЛЕРОДНОЕ ПОКРЫТИЕ (DLC ИЛИ АЛМАЗОПОДОБНОЕ ПОКРЫТИЕ)

DLC, возможно, одно из самых прочных оптических покрытий, придающее поверхности чрезвычайное сопротивление абразивам, солям, кислотам, щелочам и маслам. Чаще всего это покрытие используется для кремниевых и германиевых окон, размещающихся в военной технике и наружных тепловизорах. DLC защищает внешние оптические поверхности от скоростных частиц в воздухе, от морской воды, машинного топлива и масла, высокой влажности, неправильного обращения и т.п.

Один слой твердого углерода, нанесенный специальными методами, сочетает сильные защитные свойства и хорошее просветляющее действие. DLC имеет очень хорошую адгезию к германию и кремнию.

DLC характеризуется средними уровнями поглощения и рассеяния во всем инфракрасном диапазоне длин волн, где оно используется. Имея показатель преломления порядка 2.0, DLC обладает хорошим широкополосным просветляющим действием, как на германий, так и на кремний. Являясь однослойным покрытием, оно может быть оптимизировано на определенный диапазон длин волн (обычно на 3-5 и 8-14 микронные полосы) путём подгонки толщины слоя во время нанесения покрытия.



TYDEX[®]
J.S.CO.

Домостроительная ул. 16, 194292 С.-Петербург, РОССИЯ
Тел: 7-812-3346701, -3318702; Факс: 7-812-3346702
E-mail: tydex@tydex.ru, URL: <http://www.tydex.ru>

Таблица VII-1 Пропускание кремниевого окна (толщина 2 мм). Одна сторона покрыта стандартным широкополосным просветляющим инфракрасным покрытием, оптимизированным для достижения наименьших потерь на отражение в диапазоне 3-5 микрон. Вторая сторона покрыта DLC слоем, также оптимизированным на диапазон 3-5 микрона.

Длина волны, микроны	Пропускание, %	Длина волны, микроны	Пропускание, %
3.00	87.07	4.04	97.01
3.04	88.06	4.08	96.98
3.08	88.81	4.12	96.94
3.12	89.41	4.16	96.90
3.16	89.94	4.20	96.87
3.20	90.46	4.24	96.82
3.24	90.98	4.28	96.78
3.28	91.52	4.32	96.74
3.32	92.08	4.36	96.70
3.36	92.64	4.40	96.65
3.40	93.21	4.44	96.59
3.44	93.77	4.48	96.52
3.48	94.30	4.52	96.45
3.52	94.80	4.56	96.36
3.56	95.25	4.60	96.25
3.60	95.65	4.64	96.12
3.64	96.00	4.68	95.67
3.68	96.29	4.72	95.80
3.72	96.52	4.76	95.60
3.76	96.70	4.80	95.37
3.8	96.84	4.84	95.11
3.84	96.94	4.88	94.82
3.88	97	4.92	94.5
3.92	97.03	4.96	94.15
3.96	97.04	5.00	93.76
4.00	97.03		

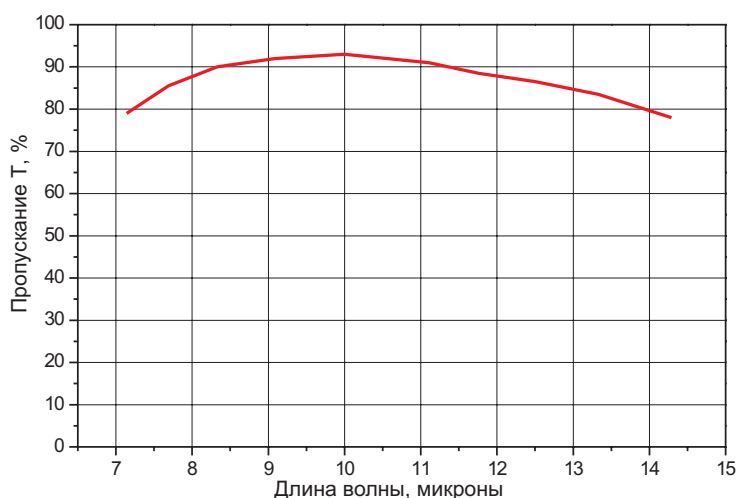


Рис. VII-1 DLC+широкополосное просветляющее покрытие на германиевом окне толщиной 2 мм.



TYDEX[®]
J.S.CO.

Домостроительная ул. 16, 194292 С.-Петербург, РОССИЯ
Тел: 7-812-3346701, -3318702; Факс: 7-812-3346702
E-mail: tydex@tydex.ru, URL: <http://www.tydex.ru>

ХАРАКТЕРИСТИКИ DLC

Химические свойства	
Состав	углерод, водород
Структура	Смесь sp^3 (тетрагональный алмазный тип кристаллической решетки) и sp^2 (тригональный графитовый тип) с аморфным углеродом
Способность к взаимодействию	Инертен к кислотам, щелочам, растворителям, солям, воде и другим реагентам при окружающей температуре
Физические свойства	
Плотность	1.8-2.1 г/см ³
Удельная теплопроводность	10 Вт/см × К
Коэффициент теплового расширения	$9 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$
Электрическое сопротивление	Несколько МОм × см
Диэлектрическая постоянная	около 4-11
Адгезия	> 5000 Па на квадратный дюйм (усилие на отрыв)
Проницаемость	Непроницаем для водорода и других газов
Оптические свойства	
Оптическая прозрачность	В диапазоне от ближнего до дальнего инфракрасного (см. табл. VII-2)
Показатель преломления	1.85 - 2.0 (см. табл. VII-2)
Толщина слоя	Зависит от длины волны. Например, для длины волны 10.6 микрона толщина слоя составляет 1.4 микрона
Шероховатость поверхности	В зависимости от подложки
Напряжения	Не измерялись
Другие свойства	
Температура осаждения	10° С приблизительно
Диапазон рабочих температур	От -60° С до +400° С
Биологическая совместимость	Не разрушает клетки, нет воспалительного действия
Прочностные характеристики	Хорошее сцепление с поверхностью подложки, стойкость к жесткому трению и механическим ударам, высокой влажности, воздействию высокой и низкой температуры, к тепловому удару, к парам соли, к растворам соли, к растворению в воде и осаждению атмосферной влаги, воздействию пыли и песка, сопротивление некоторым кислотам, сопротивление маслам и дизельному топливу по стандартам: MIL-C-675C, MIL-STD-810



Таблица VII-2 Зависимость показателя преломления и коэффициента поглощения покрытия от длины волны.

Длина волны, микроны	Показатель преломления	Коэффициент поглощения, см ⁻¹
0.4	2.05	0.28
0.5	2.04	0.22
0.6	2.02	0.14
0.7	2.01	0.08
0.8	2.0	0.04
0.9	1.99	0.03
1.0	1.98	0.027
1.1	1.97	0.026
1.2	1.965	0.025
2.0	1.95	0.025
3.0	1.945	0.025
4.0	1.943	0.025
5.0	1.941	0.025
6.0	1.94	0.025
7.0	1.938	0.025
8.0	1.935	0.024
9.0	1.933	0.024
10.0	1.931	0.024
11.0	1.93	0.023
12.0	1.93	0.023
13.0	1.93	0.023
14.0	1.93	0.023

Обращаем Ваше внимание на то, что, как правило, мы не оказываем услуги только по покрытиям, но изготавливаем покрытые оптические компоненты. Поэтому просим запрашивать покрытые детали.



TYDEX[®]
J.S.Co.

Домостроительная ул. 16, 194292 С.-Петербург, РОССИЯ
Тел: 7-812-3346701, -3318702; Факс: 7-812-3346702
E-mail: tydex@tydex.ru, URL: <http://www.tydex.ru>