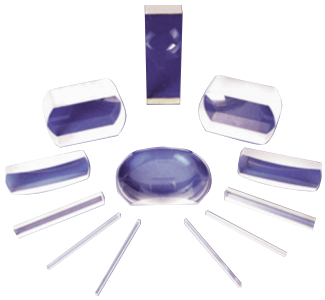
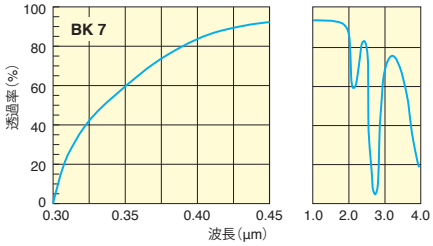
光学材料
Optical Materials



Newportでは、BK7、UVグレードフューズドシリカ、赤外グレードフッ化カルシウム（CaF_2）、フッ化マグネシウム（MgF_2）、AMTRおよびセレン化亜鉛を材質とする、幅広い種類の球面レンズおよび非球面レンズを取り扱っています。波長2.1 μmまでの可視・赤外領域のアプリケーションには、BK7が手頃で性能も優れています。紫外光から195 nmまでには、UVフューズドシリカが適しています。UVフューズドシリカは可視光と2.1 μmまでの赤外光においても優れた透過率、良好な均質度でBK7よりも低い熱膨張係数を示します。CaF_2とMgF_2はDUVまたは赤外光のアプリケーションに適しています。カスタムアプリケーションとして、Newportでは、材料の仕様に基づくお見積もりが可能です。

BK-7

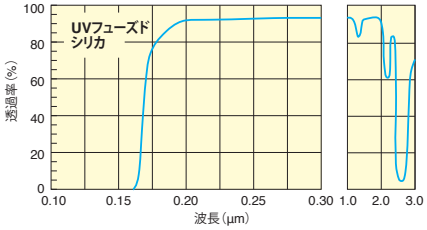
BK-7は最も一般的なホウ珪酸クラウンガラスで、可視領域および近赤外領域用光学コンポーネントに使用されます。BK-7には、均質性が高い、気泡が少ない、加工がしやすいなどの特徴があり、透過性の光学コンポーネントに適した素材となっています。BK-7の透過範囲は380-2100 nmです。精密ミラーなど、温度変化に対する耐性が要求される用途には推奨できません。



UVグレードフューズドシリカ

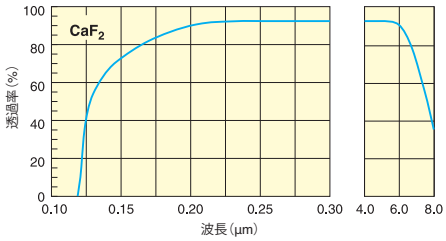
UVグレードフューズドシリカは、極めて純度の高い対称アモルファスの二酸化珪素です。この無色の非結晶シリカガラスは熱膨張係数が極めて低い上に良好な光学品質を備え、紫外領域において優れた透過率を示します。透過率と均質性は水晶を上回り、水晶固有の等方性や温度に対する不安定性についての問題もありません。フューズドシリカは、透過性および反射性両方の光学コンポーネントに使用されますが、特に高い損傷しきい値が求められる場合に適しています。

UVフューズドシリカもまた可視から赤外（約2.1 μm帯）まで、すばらしい透過性を持っています。フューズドシリカは特に高い損傷しきい値を求められる透過用と反射用のオプティクスの両方に用いられます。



CaF_2

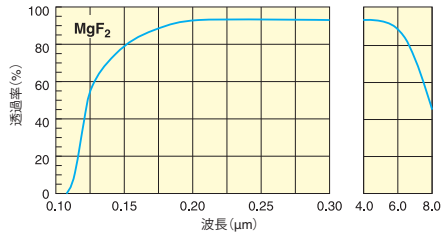
フッ化カルシウムは、真空ストックバーガ法によって生成した立方単結晶で、真空UV領域から赤外領域において高い透過率を示します。CaF_2は170 nmまでの紫外線に対する高い透過率と複屈折がないという特性から、深紫外領域用の透過光学コンポーネントに最適です。近年、天然ホタル石をIR用として使用する方法が増えてきましたが、これは非常に安いコストを実現することができます。CaF_2は熱ショックに敏感ですので、扱いには注意が必要です。



MgF_2

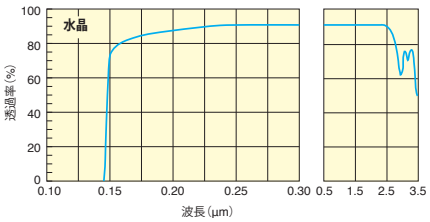
フッ化マグネシウムは、真空ストックバーガ法によって生成した正の複屈折率を持つ結晶で、真空UV領域から赤外領域において高い透過率を示します。通常は、複屈折の影響を少なくするためにc軸と光学軸が平行になる方向で使用します。

MgF_2は0.15 μmから6.5 μmの範囲の透過率に優れているので、DUVから赤外領域用としても適しています。また、フッ素環境での使用実績から、エキシマレーザー用のレンズ、ウィンドウ、偏光子として理想的です。MgF_2は熱ショックと機械的ショック対する耐性を備え、高いエネルギー損傷閾値を有します。赤外材料の中でも最も屈折率の低い材料であり、通常は反射防止コーティングが不要です。UVからIRスペクトルを透過する他の材料と比較して極めて高い耐久性があります。パルス幅の広い、広帯域なレーザーパルスが必要な、多くの生物学および軍用イメージングアプリケーションに最適です。



水晶

水晶は正の一軸性複屈折率を持つ単結晶で、熱水結晶成長法によって生成されます。水晶は真空UV領域から近赤外領域において良好な透過率を示します。複屈折性を有することから、波長板の一般的な材料として使用されます。



Pyrex®

Pyrex®は熱膨張係数の小さいホウ珪酸ガラスで、均質性が低く気泡も多いことから、主にミラーなどの非透過性の光学コンポーネントに使用されます。

Zerodur®

Zerodur®は熱膨張計数がほぼゼロのガラスセラミック材料で、材料全体にわたる熱膨張係数の差も極めて低くなっています。したがって、極めて高い熱安定性が求められるミラー基板などに最適です。Zerodur®にはさまざまな含有物がふくまれているため、透過性の光学コンポーネントには使用できません。

ZnSe

セレン化亜鉛は、サーマルイメージングや医療システムで広く使用されている化学蒸着材料です。ZnSeは広い波長帯域（600 nm～16 µm）を持つので、IRレンズの材料として非常に適しています。屈折率が高いため、通常は反射防止コーティングを施して高透過率を達成する必要があります。キズがつきやすい比較的柔らかい材料なので、過酷な環境でのご使用は推奨されません。クリーニング、取扱い、取付け時には十分な注意が必要です。ZnSeは吸収係数が低く、温度ショックへの耐性が高いので、高出力CO_2レーザーシステムに使用するオプティクスとして最適です。

光学材料の特性

	アッベ数 ν_d	熱膨張係数 (10^{-6}/°C)	導電率 (W/m°C)	熱容量 (J/gm°C)	25°Cにおける密度 (gm/cm³)	ヌープ硬度 (kg/mm²)	ヤング率 (GPa)
BK 7	64.17	7.1	1.114	0.858	2.51	610	81.5
SF 2	33.85	8.4	0.735	0.498	3.86	410	55
UVフューズドシリカ	67.8	0.52	1.38	0.75	2.202	600	73
CaF_2	94.96	18.85	9.71	0.85	3.18	158	75.8
MgF_2	106.18	13.7 ‖ c軸に平行 8.48 ⊥ c軸に垂直	21 ‖ c軸に平行 30 ⊥ c 軸に垂直	1.024	3.177	415	138.5
水晶	69.87	7.1 to ‖ c軸に平行 13.2 ⊥ c軸に垂直	10.4 ‖ c軸に平行 6.2 ⊥ c軸に垂直	0.74	2.649	740	97 ‖ c軸に平行 76.5 ⊥ c軸に垂直
Pyrex®	66	3.25	1.13	0.75	2.23	418	65.5
Zerodur®	56.09	0 ±0.1	1.46	0.80	2.53	620	90.3
ZnSe	84.45	7.6	18.0	0.399	5.27	105	70

光学材料の共通特性

材料	透過波長範囲	コスト	特徴
BK 7	380–2100 nm	低い	可視から近赤外用途に高い透過率あり。最も一般的な光学ガラス
UV フューズドシリカ (UVFS)	195–2100 nm	中間	優れた均質度と低い熱膨張率、高いレーザー損傷耐性
CaF_2	170–8000 nm	高い	DUVから赤外用途に高い透過率あり
MgF_2	150–6500 nm	高い	複屈折材料、DUVから赤外用途に最適
ZnSe	600–16000 nm	高い	波長範囲が広いため、IRレンズに最適。 吸収係数が低いため、高出力赤外レーザーとの使用に適している。

屈折率

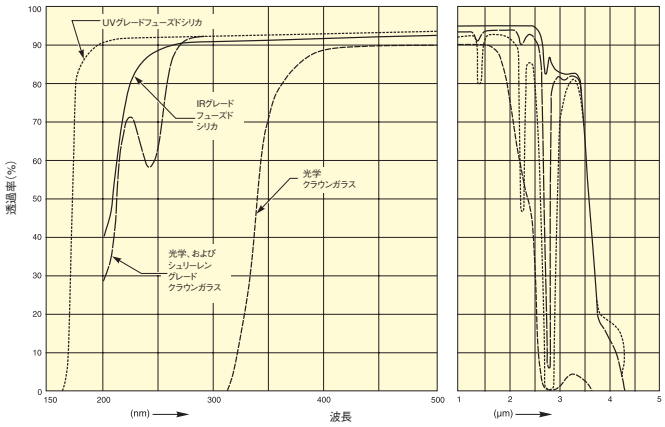
波長 (nm)	光源	BK 7	SF 2	UVフューズドシリカ	CaF_2	MgF_2 n_o	MgF_2 n_e	水晶 n_o	水晶 n_e
193	ArFエキシマレーザー	1.65528	1.52127	1.56077	1.50153	1.42767	1.44127	1.66091	1.67455
244	Arイオンレーザー	1.58265	1.98102	1.51086	1.46957	1.40447	1.41735	1.60439	1.61562
248	KrFエキシマ	1.57957	1.93639	1.50855	1.46803	1.40334	1.41618	1.60175	1.61289
257	Arイオンレーザー	1.57336	1.86967	1.50383	1.46488	1.40102	1.41377	1.59637	1.60731
266	Nd：YAGレーザー	1.56796	1.82737	1.49968	1.46209	1.39896	1.41164	1.59164	1.60242
308	XeClエキシマレーザー	1.55006	1.73604	1.48564	1.45255	1.39188	1.40429	1.57556	1.58577
325	HeCdレーザー	1.54505	1.71771	1.48164	1.44981	1.38983	1.40216	1.57097	1.58102
337.1	N_2 レーザー	1.54202	1.70749	1.47919	1.44813	1.38858	1.40085	1.56817	1.57812
351	XeFエキシマレーザー	1.53896	1.69778	1.47672	1.44642	1.38730	1.39952	1.56533	1.57518
351.1	Arイオンレーザー	1.53894	1.69771	1.47671	1.44641	1.38729	1.39951	1.56531	1.57516
354.7	Nd：YAGレーザー	1.53821	1.69548	1.47612	1.44601	1.38699	1.39920	1.56463	1.57446
363.8	Arイオンレーザー	1.53649	1.69029	1.47472	1.44504	1.38626	1.39844	1.56302	1.57279
404.7	水銀アーク、hライン	1.53023	1.67263	1.46961	1.44151	1.38360	1.39567	1.55714	1.56670
416	Krイオンレーザー	1.52885	1.66893	1.46847	1.44072	1.38301	1.39505	1.55583	1.56535
435.8	水銀アーク、gライン	1.52669	1.66331	1.46670	1.43949	1.38207	1.39408	1.55379	1.56323
441.6	HeCdレーザー	1.52611	1.66184	1.46622	1.43916	1.38183	1.39382	1.55324	1.56266
457.9	Arイオンレーザー	1.52461	1.65807	1.46498	1.43830	1.38118	1.39314	1.55181	1.56119
465.8	Arイオンレーザー	1.52395	1.65641	1.46443	1.43792	1.38088	1.39284	1.55118	1.56053
472.7	Arイオンレーザー	1.52339	1.65505	1.46397	1.43760	1.38064	1.39258	1.55065	1.55998
476.5	Arイオンレーザー	1.52309	1.65432	1.46372	1.43744	1.38051	1.39245	1.55036	1.55969
480	カドミウムアーク、F'ライン	1.52283	1.65367	1.46350	1.43728	1.38040	1.39233	1.55011	1.55943
486.1	水素アーク、Fライン	1.52238	1.65258	1.46313	1.43703	1.38020	1.39212	1.54968	1.55898
488	Arイオンレーザー	1.52224	1.65225	1.46301	1.43695	1.38014	1.39206	1.54955	1.55885
496.5	Arイオンレーザー	1.52165	1.65083	1.46252	1.43661	1.37988	1.39179	1.54898	1.55826
501.7	Arイオンレーザー	1.52130	1.65000	1.46223	1.43641	1.37973	1.39163	1.54865	1.55792
510.6	Cu蒸気レーザー	1.52073	1.64865	1.46176	1.43609	1.37948	1.39137	1.54810	1.55735
514.5	Arイオンレーザー	1.52049	1.64808	1.46156	1.43595	1.37937	1.39126	1.54787	1.55711
532	Nd：YAGレーザー	1.51947	1.64570	1.46071	1.43537	1.37892	1.39079	1.54689	1.55610
543.5	HeNeレーザー	1.51886	1.64427	1.46019	1.43502	1.37865	1.39051	1.54630	1.55549
546.1	水銀アーク、eライン	1.51872	1.64397	1.46008	1.43494	1.37859	1.39044	1.54617	1.55535
578.2	Cu蒸気レーザー	1.51720	1.64053	1.45880	1.43408	1.37792	1.38974	1.54470	1.55383
587.6	ヘリウムアーク、dライン	1.51680	1.63963	1.45846	1.43385	1.37774	1.38956	1.54431	1.55343
589.3	ナトリウムアーク、Dライン	1.51673	1.63947	1.45840	1.43381	1.37771	1.38952	1.54424	1.55336
594.1	HeNeレーザー	1.51653	1.63904	1.45824	1.43370	1.37762	1.38943	1.54405	1.55316
611.9	HeNeレーザー	1.51584	1.63752	1.45765	1.43331	1.37732	1.38911	1.54337	1.55247
628	ルビーレーザー	1.51526	1.63626	1.45716	1.43298	1.37706	1.38884	1.54281	1.55188
632.8	HeNeレーザー	1.51509	1.63590	1.45702	1.43289	1.37698	1.38876	1.54264	1.55171
635	レーザーダイオード	1.51501	1.63574	1.45695	1.43284	1.37695	1.38873	1.54257	1.55164
643.8	カドミウムアーク、C'ライン	1.51472	1.63512	1.45671	1.43268	1.37682	1.38859	1.54228	1.55134
647.1	Krイオンレーザー	1.51461	1.63489	1.45661	1.43262	1.37677	1.38854	1.54218	1.55123
650	レーザーダイオード	1.51452	1.63469	1.45653	1.43257	1.37673	1.38850	1.54209	1.55114
656.3	水素アーク、Cライン	1.51432	1.63427	1.45637	1.43246	1.37664	1.38840	1.54189	1.55093
670	レーザーダイオード	1.51391	1.63340	1.45601	1.43223	1.37646	1.38821	1.54148	1.55051
676.4	Krイオンレーザー	1.51372	1.63301	1.45585	1.43212	1.37637	1.38812	1.54130	1.55032
694.3	ルビーレーザー	1.51322	1.63198	1.45542	1.43185	1.37615	1.38789	1.54080	1.54981
750	レーザーダイオード	1.51184	1.62922	1.45424	1.43109	1.37553	1.38724	1.53943	1.54839

屈折率（つづき）

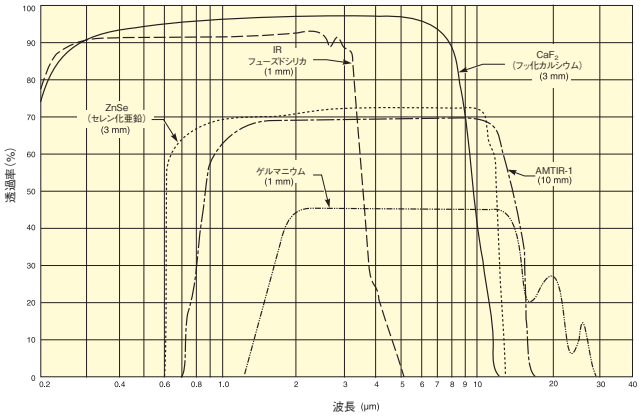
波長 (nm)	光源	BK 7	SF 2	UV フューズドシリカ	CaF_2	MgF_2 n_o	MgF_2 n_e	水晶 n_o	水晶 n_e
780	レーザーダイオード	1.51118	1.62796	1.45367	1.43074	1.37524	1.38693	1.53878	1.54771
830	レーザーダイオード	1.51020	1.62613	1.45282	1.43023	1.37480	1.38647	1.53779	1.54668
850	レーザーダイオード	1.50984	1.62548	1.45250	1.43004	1.37464	1.38630	1.53742	1.54630
852.1	セシウムアーク、sライン	1.50980	1.62541	1.45247	1.43002	1.37462	1.38628	1.53739	1.54626
905	レーザーダイオード	1.50892	1.62387	1.45168	1.42957	1.37422	1.38586	1.53648	1.54532
980	レーザーダイオード	1.50779	1.62202	1.45067	1.42902	1.37371	1.38533	1.53531	1.54409
1014	水銀アーク、tライン	1.50731	1.62128	1.45024	1.42879	1.37350	1.38510	1.53481	1.54357
1053	Nd：YLFレーザー	1.50678	1.62049	1.44976	1.42854	1.37326	1.38485	1.53425	1.54299
1060	Nd：Glassレーザー	1.50669	1.62035	1.44968	1.42850	1.37322	1.38480	1.53415	1.54288
1064	Nd：YAGレーザー	1.50663	1.62028	1.44963	1.42848	1.37319	1.38478	1.53410	1.54282
1300	レーザーダイオード	1.50370	1.61644	1.44692	1.42721	1.37188	1.38338	1.53094	1.53950
1320	Nd：YAGレーザー	1.50346	1.61616	1.44669	1.42711	1.37177	1.38327	1.53068	1.53922
1550	レーザーダイオード	1.50065	1.61312	1.44402	1.42602	1.37052	1.38194	1.52761	1.53596
1970.1	水銀アーク	1.49495	1.60780	1.43852	1.42401	1.36803	1.37928	1.52138	1.52932
2100	Ho：YAGレーザー	1.49296	1.60608	1.43659	1.42334	1.36718	1.37837	1.51924	1.52703
2325.4	水銀アーク	1.48921	1.60291	1.43293	1.42212	1.36559	1.37667	1.51524	1.52277
2940	Er：YAGレーザー	1.47670	1.59273	1.42065	1.41827	1.36051	1.37123	1.50246	1.50908

光学材料の透過率

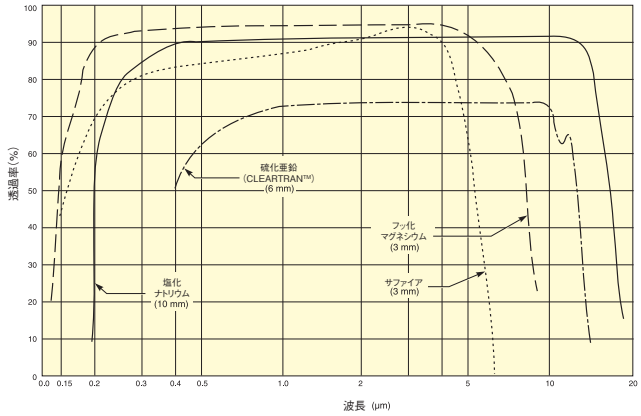
以下のグラフは標準的に使用されている光学材料の透過率を比較したものです。ここに掲げる透過率の値は、表面コーティングされていない光学素子の反射率も考慮に入れた「外部透過率」に相当します。



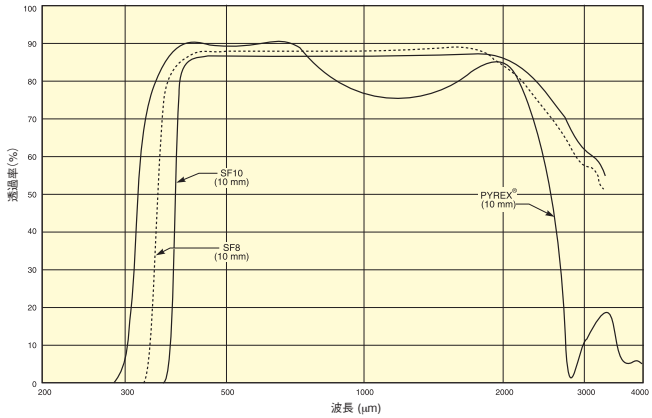
厚さ10mmのフューズドシリカ、BK7、およびクラウンガラス窓の光透過



IR光学材料の透過率



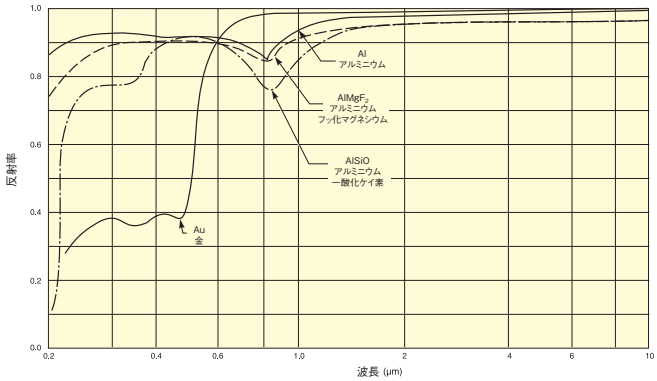
UV-IR材料の透過率



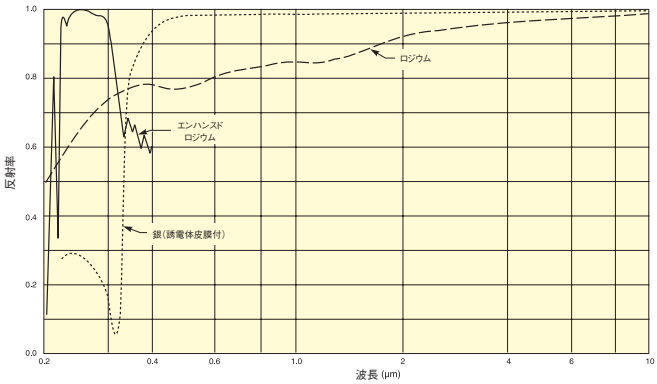
VIS-NIR材料の透過率

光学材料の反射率

汚れた雰囲気中に置かれた金属製反射体はすべて時間と共に劣化します。また、強い紫外線放射も露光時間の累積により性能に影響を与え、反射表面を過熱すると反射性能が失われることもあります。



蒸着したばかりの新鮮なAl、$AlMgF_2$、AlSiO、およびAuがほぼ垂直に入射する光に対して示す典型的反射率。



誘電体コーティングされたロジウム、エンハンスドロジウム、および銀がほぼ垂直に入射する光に対して示す典型的反射率。

エンハンスドロジウムコーティングは紫外線や広い入射角範囲に対して優れた性能を持ち、かつ長い寿命を持つように最適化されています。楕円反射体としての使用を考えると、エンハンスドロジウムは現在入手可能なコーティングの中で最も効率と耐久性に優れています。$AlMgF_2$コーティングは近紫外領域で性能を発揮するように最適化されています。