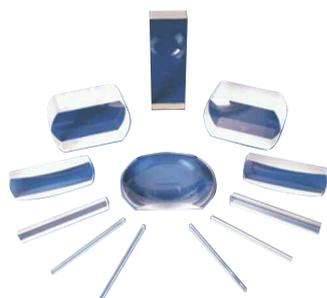


光学材料

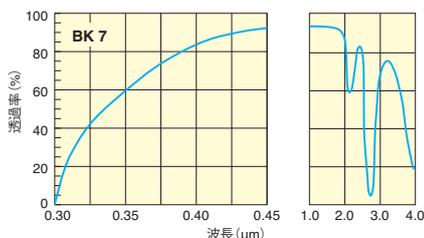
Optical Materials



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 (CaF₂)、フッ化マグネシウム (MgF₂)、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。CaF₂とMgF₂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

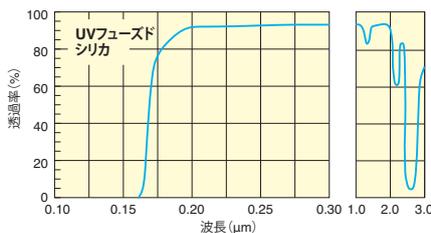
BK-7は最も一般的なホウ珪酸クラウンガラスで、可視領域および近赤外領域用光学コンポーネントに使用されます。BK-7には、均質性が高い、気泡が少ない、加工がしやすいなどの特徴があり、透過性の光学コンポーネントに適した素材となっています。BK-7の透過範囲は380-2100 nmです。精密ミラーなど、温度変化に対する耐性が要求される用途には推奨できません。



UVグレードフューズドシリカ

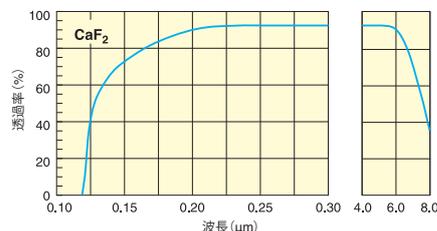
UVグレードフューズドシリカは、極めて純度の高い対称アモルファスの二酸化珪素です。この無色の非結晶シリカガラスは熱膨張係数が極めて低い上に良好な光学品質を備え、紫外領域において優れた透過率を示します。透過率と均質性は水晶を上回り、水晶固有の等方性や温度に対する不安定性についての問題もありません。フューズドシリカは、透過性および反射性両方の光学コンポーネントに使用されますが、特に高い損傷しきい値が求められる場合に適しています。

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。



CaF₂

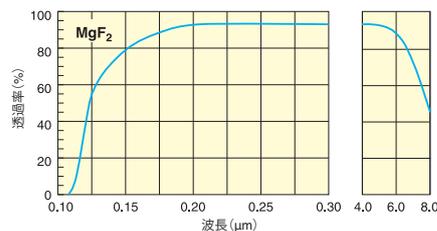
フッ化カルシウムは、真空ストックバーガ法によって生成した立方単結晶で、真空UV領域から赤外領域において高い透過率を示します。CaF₂は170 nmまでの紫外線に対する高い透過率と複屈折がないという特性から、深紫外領域用の透過光学コンポーネントに最適です。近年、天然ホタル石をIR用として使用する方法が増えてきましたが、これは非常に安いコストを実現することができます。CaF₂は熱ショックに敏感ですので、扱いには注意が必要です。



MgF₂

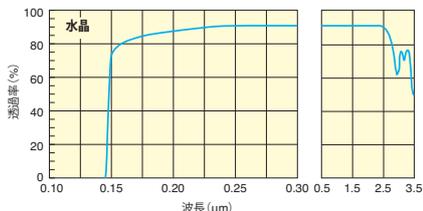
フッ化マグネシウムは、真空ストックバーガ法によって生成した正の複屈折率を持つ結晶で、真空UV領域から赤外領域において高い透過率を示します。通常は、複屈折の影響を少なくするためにc軸と光学軸が平行になる方向で使用します。

MgF₂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。MgF₂は熱ショックと機械的ショックに対する耐性を備え、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ため、高出力CO₂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

| | アッペ数 V _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/cm ³) | ヌーブ硬度 (kg/mm ²) | 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 | 優れた均質性と低い熱膨張率、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 | 波長範囲が広いので、IRレンズに最適。吸収係数が低いので、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 |

光学の基礎

光学材料

光学公式

クーニンソフ

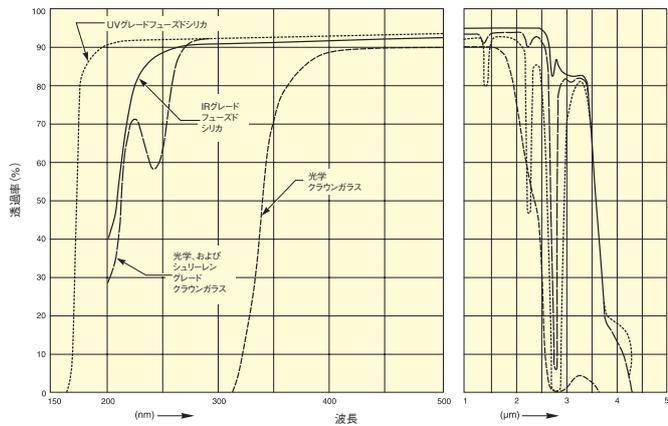
光学ミラーシステム

屈折率 (つづき)

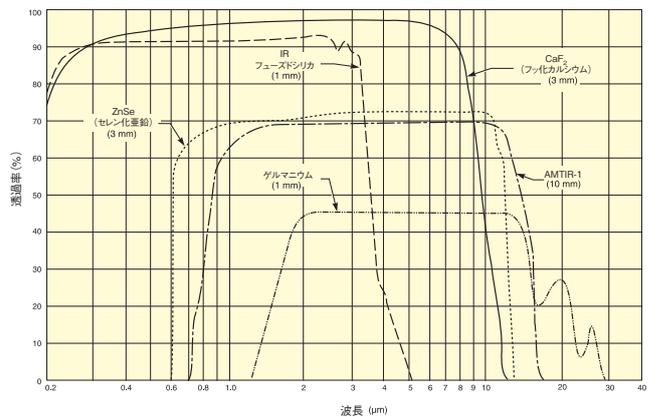
| 波長 (nm) | 光源 | BK 7 | SF 2 | UV フューズド シリカ | CaF ₂ | MgF ₂ n _o | MgF ₂ n _e | 水晶 n _o | 水晶 n _e |
|---------|----------------|---------|---------|--------------|------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------|-------------------|
| 780 | レーザーダイオード | 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

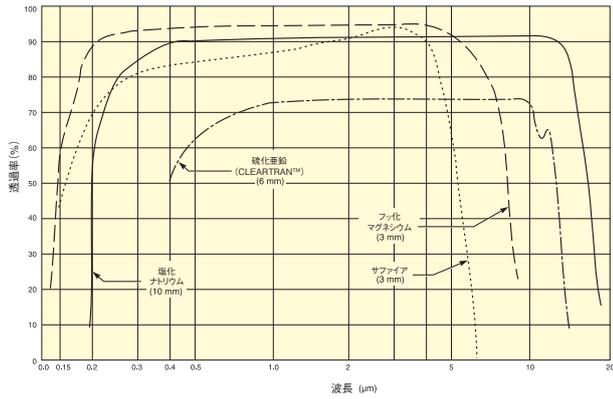
以下のグラフは標準的に使用されている光学材料の透過率を比較したものです。ここに掲げる透過率の値は、表面コーティングされていない光学素子の反射率も考慮に入れた「外部透過率」に相当します。



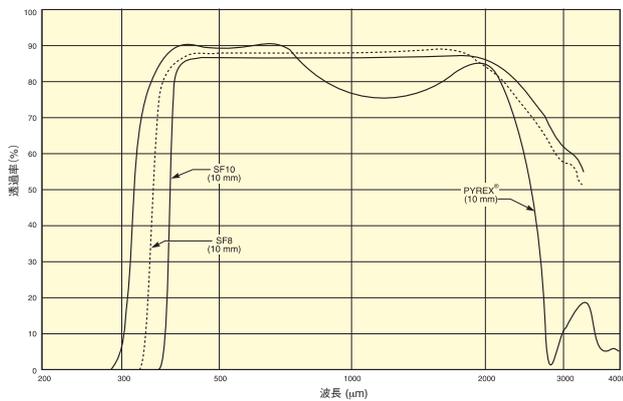
厚さ10mmのフューズドシリカ、BK7、およびクラウンガラス窓の光透過



IR光学材料の透過率



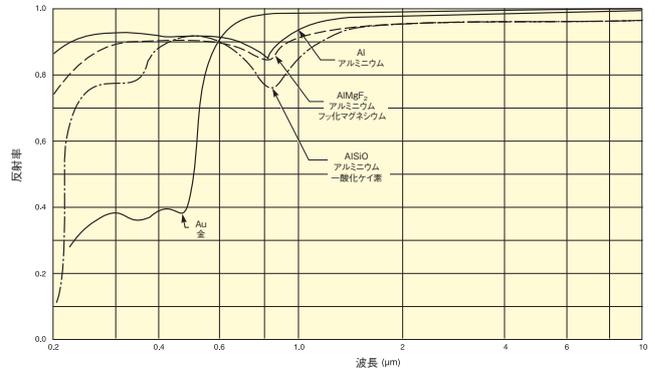
UV-IR材料の透過率



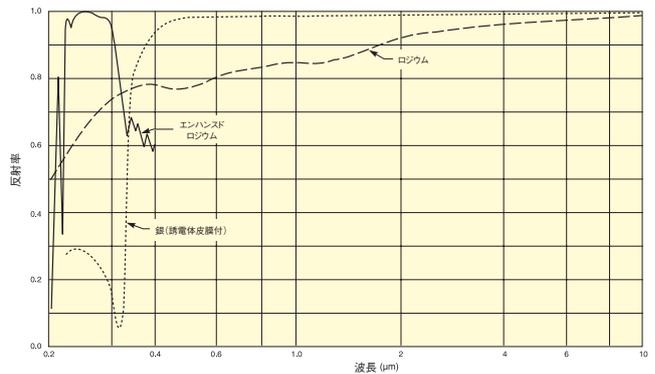
VIS-NIR材料の透過率

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、AlMgF₂、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。AlMgF₂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。