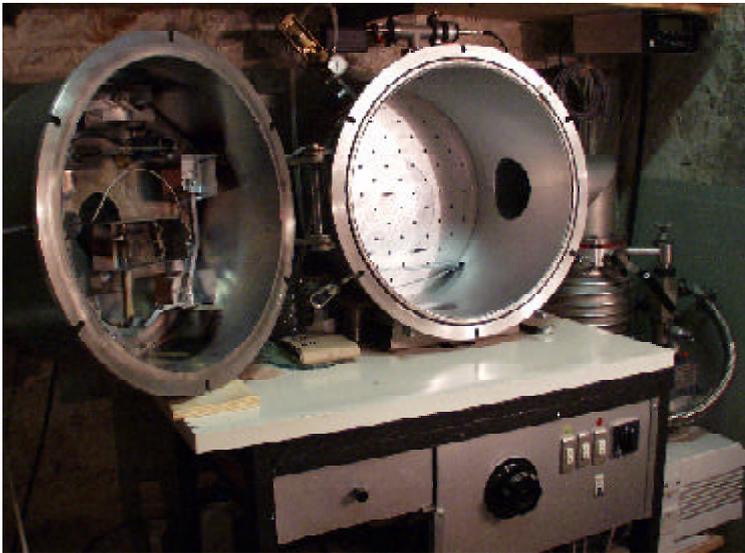


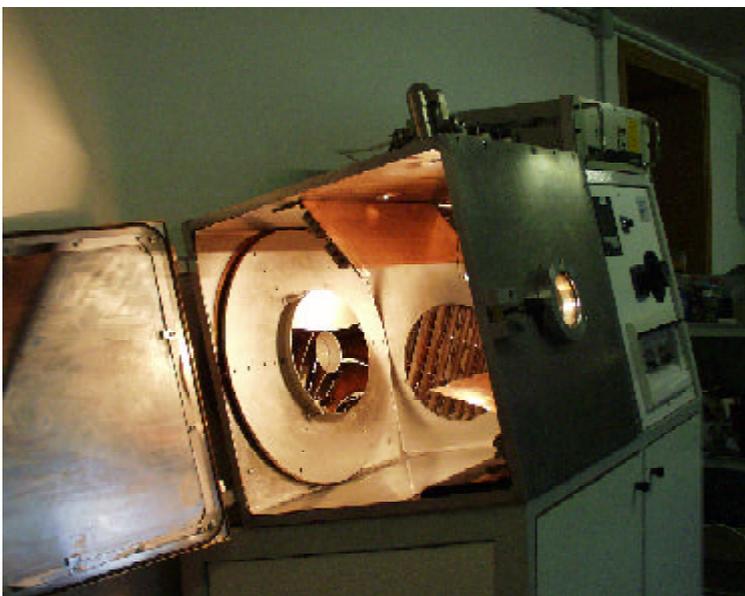
## TRATTAMENTI IN ALTO VUOTO

### *I nostri impianti*

Possiamo effettuare il servizio di alluminatura e di trattamento antiriflesso fino al diametro massimo di 600 mm. L'evaporazione viene effettuata a una pressione inferiore a  $2 \times 10^{-5}$  mbar garantendo così un'ottima qualità del trattamento. ( approfondimento )



Un impianto è costituito da una campana cilindrica di acciaio inox con una pompa a diffusione Edwards da 700 l/s appoggiata a una pompa rotativa Leybold da 25 mc/h. L'elevato rapporto tra la distanza delle sorgenti di evaporazione e il diametro assicura una buona omogeneità del trattamento.



Un secondo impianto è costituito da una campana in alluminio di forma cubica con una grande pompa turbomolecolare a levitazione magnetica, priva quindi di qualsiasi tipo di lubrificante, da 2000 l/s appoggiata da una pompa rotativa Edwards da 28 mc/h. La notevole portata della nuova pompa a vuoto unitamente al volume relativamente piccolo della campana permette di raggiungere in breve tempo un grado di vuoto eccellente e totalmente privo di vapori di idrocarburi.

Questo impianto, di nostra progettazione e realizzazione, ha la particolarità di poter ruotare lo specchio da trattare durante la fase di evaporazione. Ciò assicura, indipendentemente dal numero delle sorgenti, un'ottima omogeneità dello spessore sul substrato.

## Alluminatura:

E' possibile effettuare l'evaporazione reattiva del monossido di Silicio in atmosfera residua di Ossigeno puro per aumentare la trasparenza della quarzatura nella parte violetta dello spettro.

In questo caso diminuisce leggermente la densità e la durezza del trattamento protettivo, ma diminuisce considerevolmente l'indice di rifrazione del monossido di Silicio, da 1,9 a 1,5, che si ossida per assorbimento dell'ossigeno presente in campana diventando di fatto quarzo ( $\text{SiO}_2$ ), più trasparente nella parte violetta dello spettro.

Il vantaggio però è soprattutto quello di avere una minor perdita di riflettanza per l'interferenza tra la riflessione sulle superfici aria-SiO e SiO-Alluminio.

Il monossido di Silicio ha caratteristiche ottimali per durezza, aderenza all'alluminio, resistenza chimica, ma con un indice di rifrazione di 1,9 inevitabilmente riflette una percentuale non trascurabile di luce. (circa il 10 %)



e

Questa riflessione tende a interferire con quella dello strato di alluminio sottostante tanto che se lo strato fosse di  $\frac{1}{4}$  d'onda l'interferenza diminuirebbe la capacità di riflettere dello specchio di tutta questa percentuale.

Ovviamente si può annullare questa perdita con uno spessore di  $\frac{1}{2}$  d'onda, ma solo per quella lunghezza d'onda.

La luce che raccoglie lo specchio è costituita da un miscuglio di colori che vanno dai 400 ai 700 nanometri circa e quindi considerando proprio l'elevata riflessione del dielettrico la perdita per questo effetto per alcune lunghezze d'onda è consistente.

E' per questo motivo che uno specchio quarzato visto con un angolo di luce radente appare leggermente colorato.

Se non si vuole rinunciare alla buona protezione del monossido di Silicio, una parziale soluzione a questo problema può essere quella di fare la quarzatura con uno spessore inferiore al  $\frac{1}{4}$  della luce violetta così l'interferenza distruttiva si verifica in una zona dello spettro lontana dal visibile.

L'esperienza ha dimostrato che anche con uno spessore così sottile lo specchio risulta ben protetto dagli agenti chimici e le aggressioni meccaniche di una pulizia o di un lavaggio.

Da misure effettuate presso l'istituto di Fisica Nucleare di Padova, al migliore riflettanza si ha con l'alluminatura non protetta, o meglio protetta solo da quel sottilissimo strato di Ossido di Alluminio,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  detto anche allumina, che si forma naturalmente sulla superficie di Alluminio esposta all'aria.

L'allumina è durissima e perfettamente trasparente anche nella parte infrarossa e ultravioletta dello spettro, è inoltre con un volume cristallino uguale a quello dell'alluminio metallico, ciò permette la formazione di un film continuo che impedisce il progredire dell'ossidazione. E' un processo di passivazione naturale. Questo film è però troppo sottile per rappresentare una protezione meccanica e quindi lo specchio alluminato si graffia facilmente se viene strofinato o pulito meccanicamente.

Lo specchio semplicemente alluminato può essere però facilmente lavato con acqua e un detergente neutro.

Dopo pochi giorni dal trattamento lo strato di allumina è così perfettamente omogeneo da respingere l'acqua che

non aderisce più. Messo in verticale l'acqua scorre via senza bagnare la superficie. Anche l'attrito diminuisce, passando un panno morbido e asciutto su uno specchio in queste condizioni si sente scivolare senza quasi nessuna resistenza.

Questo a patto che il processo di alluminatura sia stato fatto con un grado di vuoto eccellente.

Negli osservatori professionali la quarzatura non viene mai effettuata per avere la riflettanza costante in tutte le lunghezze d'onda dello spettro, oggi anche molti astrofili soprattutto quelli che si dedicano all'osservazione del profondo cielo preferiscono alluminare più spesso i loro specchi, ma avere le massime prestazioni dai loro strumenti.

Bisogna comunque tener presente che in un ambiente in cui l'aria non sia pulita o nel caso lo specchio sia esposto spesso a condensazioni leggermente acide o saline la durata può essere inferiore a quella di una alluminatura quarzata.

Quando la luce attraversa una superficie di separazione tra due mezzi di indice di rifrazione diverso, una parte della luce viene riflessa. La percentuale della luce riflessa dipende dalla differenza degli indici di rifrazione dei due mezzi trasparenti secondo la relazione:

### **Trattamento antiriflesso:**

$$r = \frac{(1 - p)^2}{(1 + p)^2} \quad \text{per una incidenza normale, dove } p \text{ è il rapporto tra gli indici dei due materiali } n_2/n_1$$

Come si vede, nel caso di una lente, più elevato è l'indice di rifrazione del vetro, più grande è la perdita di luce che viene riflessa.

Per un vetro di indice 1,52 (crown) la riflessione è di circa il 4%

Sfruttando l'interferenza tra film sottili di materiali trasparenti che oggi è possibile evaporare nell'alto vuoto, la perdita di luce per riflessione può essere notevolmente diminuita.

Se la superficie di una lente di indice  $n_1$  è ricoperta da un sottile film di materiale trasparente di indice  $n_2$ , ci saranno due onde di luce riflessa, una dalla superficie di separazione aria- $n_2$ , l'altra dalla superficie  $n_2$ - $n_1$ .

Se lo spessore del film sottile è di  $\frac{1}{4}$  di  $\lambda$ , l'onda riflessa dovrà percorrerla due volte all'andata e al ritorno della riflessione, si troverà così in opposizione di fase con la riflessione aria- $n_2$ .

Le due onde interferiscono e tendono ad eliminarsi vicendevolmente, ma per il principio di conservazione dell'energia non si annullano, ma sono costrette a passare nel mezzo successivo.

L'effetto è massimo per la lunghezza d'onda considerata, ma solo quando è uguale anche l'intensità delle due riflessioni. Ciò si verifica quando l'indice di rifrazione del film trasparente evaporato per annullare il riflesso di una superficie aria-vetro o viceversa, è uguale alla radice quadrata dell'indice del vetro.

Per un vetro a bassa dispersione a basso indice, ad esempio per il più comune BK7 di indice 1,512 il materiale trasparente necessario dovrebbe avere un indice di 1,23. Purtroppo non esiste un materiale con queste caratteristiche.

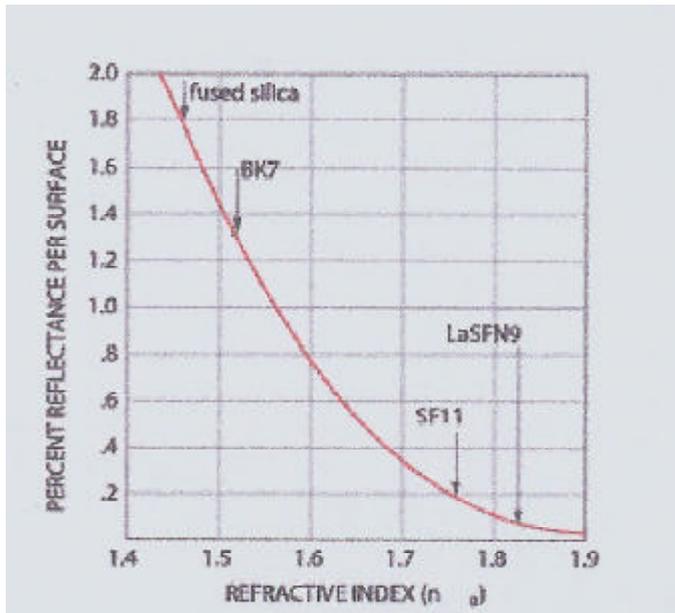
Il materiale che più si avvicina a queste esigenze, tenendo conto anche che deve avere una sufficiente resistenza chimica e meccanica è il Fluoruro di Magnesio  $MgF_2$ , che ha un indice di rifrazione di 1,38.

L'eliminazione del riflesso è quindi solo parziale, ma consistente.

Per vetri invece di indice più elevato il guadagno è maggiore e diventa massimo per lenti con un indice di rifrazione di 1,90.

Non si deve però dimenticare che la luce bianca è composta da onde con una lunghezza che va circa da 700 ai 400 nanometri e che quindi il riflesso si può correggere in massima parte solo per una determinata lunghezza d'onda, è per questo che una lente trattata appare con una colorazione di solito leggermente azzurra e che questa colorazione è più marcata nelle lenti fatte con vetri ad alto indice di rifrazione.

Si è pensato di risolvere questo problema con trattamenti a strati multipli, se infatti viene evaporato sul vetro a indice basso un mezzo trasparente a indice elevato e poi successivamente uno a indice basso come il fluoruro di Magnesio l'effetto dell'interferenza è molto più vistoso e si presenta con colorazioni molto più marcate, ma attenzione, in questo caso l'energia persa per riflessione sarà maggiore di quella persa con un buon trattamento



monostrato.

Questo tipo di trattamento antiriflesso è chiamato double-layer o quarto-quarto o anche V coating dalla caratteristica forma della curva della riflettanza in funzione delle diverse lunghezze d'onda.

Questo trattamento è più popolare ed economico, ma adatto soprattutto per applicazioni monocromatiche ed è facilmente riconoscibile quando il riflesso di una lente o di una lastra correttiva ha una marcata colorazione.

La cosa è molto più complicata di quello che sembra, infatti per avere un guadagno effettivo i trattamenti a strati multipli devono essere almeno tre ed effettuati da impianti in cui lo spessore dei vari materiali viene controllato con grande precisione. Dal grafico si può notare la differenza delle diverse situazioni.

Quando il riflesso di una lente o di una lastra correttiva è vistosamente colorato significa che una parte consistente di energia viene riflessa, infatti un trattamento antiriflesso ideale in teoria non si dovrebbe vedere.

Su vetro a basso indice di rifrazione il trattamento si vede con un colore poco marcato e debole proprio perché è poca la differenza di riflesso tra le varie lunghezze d'onda della luce.

I trattamenti a strati multipli sono molto importanti nei casi in cui ci siano sistemi ottici con un grande numero di superfici aria vetro e con vetri ad alto indice di rifrazione.

**Comparison between the residual reflection of uncoated and coated ophthalmic lenses**

