

〈論文〉

(受理：平成元年2月23日)

接着による光学歪に及ぼす接着条件の影響

寺本和良*・西川哲也*・原賀康介*

要 旨

接着によって発生する光学ミラーの歪に及ぼす種々の接着条件の影響について調べた。光学ミラーはガラス製で直角二等辺三角形のプリズム形状である。光学ミラーを接着剤によりアルミ製のベースに接着して干渉計を用いてミラーの斜面の収差を測定した。検討した接着条件は、接着剤の種類、硬化条件、接着部の形状、ミラー斜面内の測定領域の影響である。

その結果次のことがわかった。

- (1) 接着によって生じる光学歪は接着剤の硬化時の体積収縮率と硬化後のヤング率に依存しており、収縮が大きくしかも硬化後のヤング率が高い場合に歪は大きいと考えられる。
- (2) エポキシ系接着剤では硬化温度の上昇に伴い光学歪は大きくなる。
- (3) 紫外線硬化接着剤では紫外線照射強度が大きいほど光学歪は大きくなる。また、紫外線照射により試料の温度上昇が起ると光学歪は大きくなる。
- (4) 光学歪はガラスの厚みに依存し、ガラスが薄いほど光学歪は大きいと思われる。
- (5) 接着部の形状は光学歪に大きく影響する。

1. 緒 言

コンパクト・ディスクやビデオ・ディスク、光ディスク・メモリなどの光学式ディスクに記録された情報を読み取る光ピックアップ装置¹⁻⁷⁾や光伝送システムに使用される光回路部品⁸⁾などは多くの光学部品で構成されており、組み立てには接着接合が多用されている^{3,6,8,9)}。光学部品の組み立てにおいては部品の位置精度とともに接着によって生じる光学歪をできるだけ小さくすることがきわめて重要である^{4,6,10-13)}。ところが、光学用接着剤や光学部品の接着における歪に関する報告はあまりなされていない¹⁰⁻¹⁴⁾。そこで我々は、斜面に反射機能をもつプリズム形状のガラス製ミラーとアルミ製ベースの接着において、接着剤の種類、硬化条件、接着部の形状、光学部品の厚さなどの因子が光学歪に及ぼす影響について検討したのでその結果を報告する。

2. 実 験

2.1. 試料の形状、寸法

斜面に反射機能をもつプリズム形状のミラー (BK-7 ガラス製) と接着部を上仕上げ (6S程度) したアルミ製ベースの接着試料 (モデルA) の形状、寸法を図1に示した。接着部はミラーの底面部全面およびミラー後方のベース当り面部分である。なお、ミラー後方のベース当り面の高さHの影響を評価するために、Hを0から

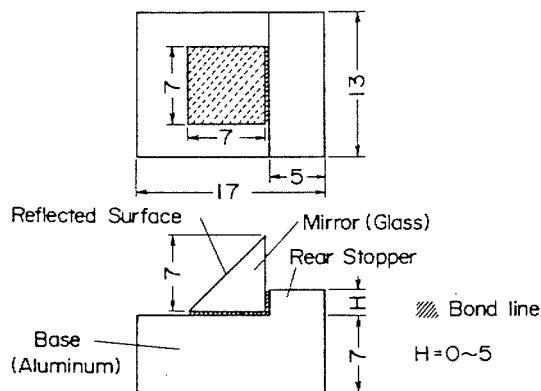


Fig. 1 A shape and dimensions of the specimen. (Model A)

* 三菱電機機材材料研究所
尼崎市塚日本町8-1-1 〒661

5 mm まで変化させた。

図 1 に示した試料 (モデル A) においてはミラー底面は全面接着されているが、ミラー底面の接着部の形状の影響を評価するための試料として、図 2 に示すモデル B1, B2, B3 のようにモデル A のベースの上面をそれぞれ 2 mm の深さに一部分削り取り接着部の形状を変化させたベースを用いた。接着部は図 2 の斜線部分およびミラー後方のベース当り面部分である。なお、後方の当り面の高さ H はいずれも 1 mm である。

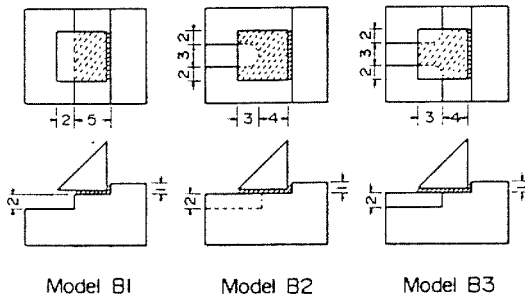


Fig. 2 Shapes and dimensions of the specimens. (Model B1, B2, B3)

ミラー側面の当り面の影響を評価するための試料として、図 3 に示すモデル C1, C2, C3 を用いた。接着部は図 3 の斜線部分であり、モデル C1, C2 は底面と側面および後方の当り面が接着部となるが、モデル C3 では側面当り面の手前に溝があるため側面当り面では接着しておらずまた底面および後方の当り面の接着面積はモデル C1, C2 より少なくなっている。なお、側面および後方の当り面の高さ H は全て 0.5 mm である。

2.2. 供試接着剤

二液型エポキシ系接着剤 2 種類 (E1, E2), 紫外線

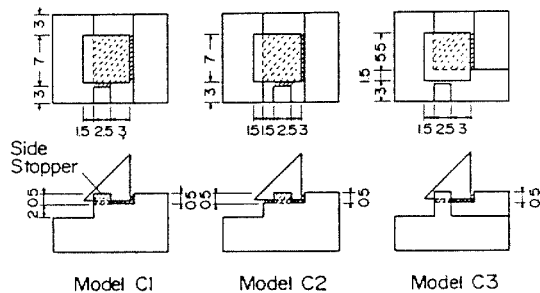


Fig. 3 Shapes and dimensions of the specimens. (Model C1, C2, C3)

硬化型接着剤 4 種類 (U1, U2, U3, U4), プライマー併用嫌気硬化型接着剤 2 種類 (A1, A2), シアノアクリレート系接着剤 1 種類 (C), 二液主剤型 SGA 1 種類 (S1), 主剤・プライマー型 SGA 1 種類 (S2) 11 種類の接着剤を用いた。

2.3. 接着試料の作製方法

アルミベースの接着前処理はアセトンによる超音波洗浄を行い、ミラーは前処理を行わずにそのまま使用した。プライマーを用いる嫌気硬化型接着剤および SGA は、ベース側にプライマー、ミラー底面に主剤を塗布し、二液型のエポキシ系接着剤および SGA は二液を混合後にベースに塗布し、その他の接着剤はそのままベースに塗布した後、ただちにミラーをベース上に載置した。

紫外線硬化型接着剤は、超高圧水銀灯の光ファイバ集光式照射器を用いてミラーを透過後のミラー底面の中心部における紫外線照射強度が 365nm で 0.3~80mW/cm² となる条件で硬化させた。なお、赤外線カットフィルタなどを用いて紫外線照射時の熱線 (赤外線) による試料の温度上昇を防止した。ただし、紫外線照射による試料の温度上昇の影響を調べる実験には、1.5kW 高圧水銀灯の箱形照射器を用いた。

エポキシ系接着剤は 20℃ での室温硬化あるいは 40~80℃ での加熱硬化を行った。

その他の接着剤は 20℃ での室温硬化を行った。

2.4. 光学歪の測定方法

光学歪は、フィゾー干渉計 ZygoMK-II (キャノン (株) 製) を用いて図 4 に示す光学系によりプリズムミラーの反射面と参照平面板からの反射による干渉縞パターンを測定し、干渉縞解析装置によりミラー反射面の波面収差量の Root Mean Square (RMS) および収差成分を求めた。波

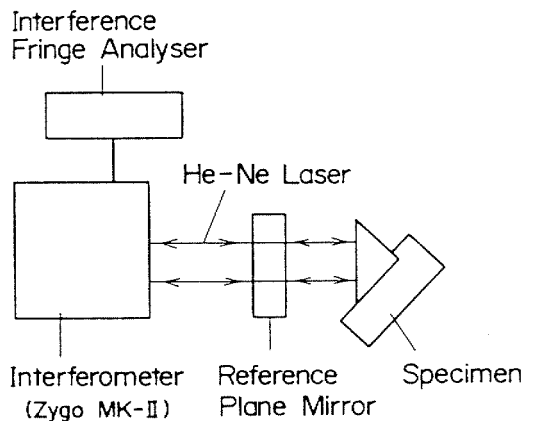


Fig. 4 A method of measuring the aberration.

面収差量については、図5に示すI、II、IIIの3領域について測定し、収差成分については領域IとIIを含めた反射面全面について測定した。なお、測定には波長633nmのレーザ光を用いたが、データは光ピックアップで通常使用されている半導体レーザの波長780nmに換算してある。

測定により得られた収差成分から、(1)式¹⁵⁾に従ってミラー反射面の位置X (-1 ≤ X ≤ +1, 図5参照)における反射面に垂直方向の歪量ΔZ(X)を計算した。

$$\Delta Z(X) = (A \cdot Z_1 + B \cdot Z_2 + C \cdot Z_3 + D \cdot Z_4) \times W \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{ここで } Z_1 &= 2X^2 - 1 & Z_2 &= X^2 \\ Z_3 &= 3X^3 - 2X & Z_4 &= 6X^4 - 6X^2 + 1 \end{aligned}$$

Aはフォーカス成分, Bは非点収差成分,
Cはコマ収差成分, Dは球面収差成分,
Wは装置定数で0.772である。

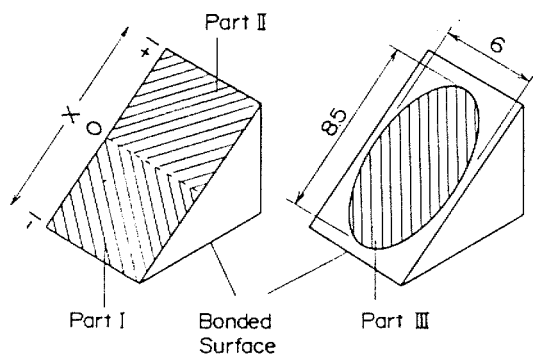


Fig. 5 Measuring parts of the aberration.

3. 結果と考察

3.1. 接着剤の種類と接着による光学歪

図6には、2.2に示した11種類の接着剤の試料モデルA (H=1mm)におけるミラー反射面の波面収差量の測定結果を示した。エポキシ系接着剤は20℃で、紫外線硬化型接着剤は接着部の紫外線照射強度30mW/cm²で20秒間照射して硬化させたものである。図6の結果より、領域IIIにおける波面収差量を見ると5.5~35.1nmの範囲にあり、接着剤によりかなり異なることがわかる。しかし、波面収差量と接着剤の主成分や反応形態との関係はみられず、同系列の接着剤でも光学歪は大きく異なることがわかる。

表1は、図6の領域IIIにおける波面収差量が小さい接

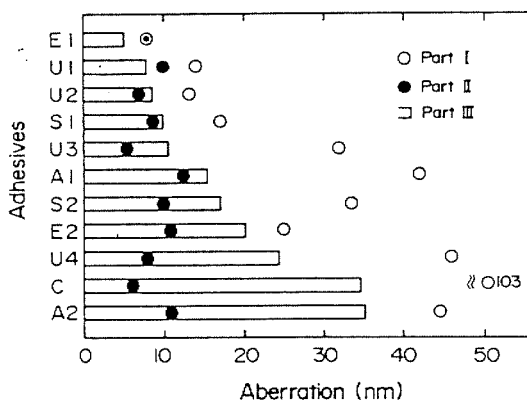


Fig. 6 The effect of adhesives on the aberration in each part.

Table 1 The relation between Young's modulus, the coefficient of volume contraction of each adhesive and the aberration

Adhesive	Young's Modulus (kg/mm ²)	Coefficient of Volume Contraction (%)	Aberration
E 1	Low (35)	Small (2~3)	Small
U 1	Low	Small	
U 2	Low (105)	Small	
S 1	Low (75)	Large (14)	Medium
U 3	Medium	Medium	
A 1	Low	Large	
S 2	Low	Large	Large
E 2	High (400)	Small (3)	
U 4	High	Medium	
C	High	Large (10~16)	
A 2	Medium	Large	

着剤の順にヤング率および体積収縮率を示したものである。波面収差量とヤング率および体積収縮率との関係を見ると、波面収差量が小さな接着剤 E1, U1, U2 はヤング率が低くしかも体積収縮率が小さく、一方、波面収差量が大きな接着剤 A2, C, U4 ではヤング率が中以上で体積収縮率も中以上である。これらの結果より、硬化物が硬くて硬化時の収縮率が大きな接着剤、即ち硬化による内部応力が大きいほど接着による光学歪は大きくなる傾向があると考えられる。

3.2. 測定領域と接着による光学歪

図6には、領域Ⅲの波面収差量とともに領域Ⅰ、領域Ⅱの結果も示したが、波面収差量はいずれの接着剤でも領域Ⅰが領域Ⅱよりも大きくなっている。領域ⅠとⅡの違いは光学部品の厚さの違いと考えてよく、光学部品の厚さが薄いほど接着による光学歪が発生しやすくなると言える。光学部品の厚さが薄いほど接着による光学歪が発生し易くなるのは、光学部品の厚さが薄いほど部品の剛性が低くなるため、接着剤硬化時の体積収縮により発生する内部応力の影響を受け易いためと考えられる。

3.3. 接着剤の硬化条件と接着による光学歪

(1) エポキシ系接着剤

図7には、図6の結果で光学歪みの発生が最も小さかったエポキシ系接着剤 E1 について硬化温度と領域Ⅰにおける波面収差量の関係を示した。試料はモデル A (H = 1 mm) である。図より、硬化温度が20℃ から60℃までの範囲では波収差量はほぼ一定であるが、80℃で硬化すると波面収差量が大きくなるのがわかる。表2には、接着剤 E1 の硬化条件と硬化物のバーコール硬度および DSC により測定した硬化度を示したが、硬化温度が高いほど硬化度が高く硬化物の硬度も高くなるのがわか

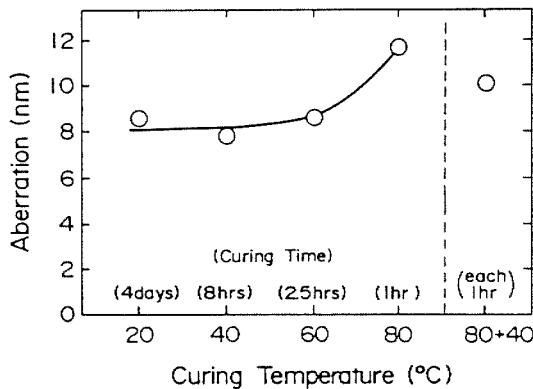


Fig. 7 The relation between curing temperature of epoxy adhesive E1 and the aberration.

Table 2 The relation between curing conditions of epoxy adhesive E1 and Barcol hardness and the degree of curing

Curing Condition	26℃ 24hr	26℃ 48hr	50℃ 1 hr	70℃ 1 hr	100℃ 30min
Barcol Hardness		30	40		52
Degree of Cure (DSC)	72%		85%	94%	

る。この結果より、高温硬化における波面収差量の増大の原因は、高温硬化の方が硬化度が高く硬い硬化物ができるために硬化時の内部応力が大きくなるためと考えられる。また、硬化温度と室温の温度差と接着剤、被着剤の膨張係数の差により発生する熱応力も硬化温度が高い方が大きくなることも波面収差量の増大の原因の一つであろう。

なお、図7において、80℃で硬化後40℃でアニーリングを行うと波面収差量は若干低下する傾向がみられるが、これはアニーリング中に内部応力が緩和するためと思われる。

(2) 紫外線硬化型接着剤

図8には、図6の結果で光学歪みの発生が小さかった紫外線硬化型接着剤 U2 についての、紫外線照射強度と領域Ⅰ、Ⅱにおける波面収差量の関係を示した。試料はモデル A (H = 1 mm) である。まず、紫外線照射による部品の昇温がない場合の領域Ⅰについて見ると、紫外

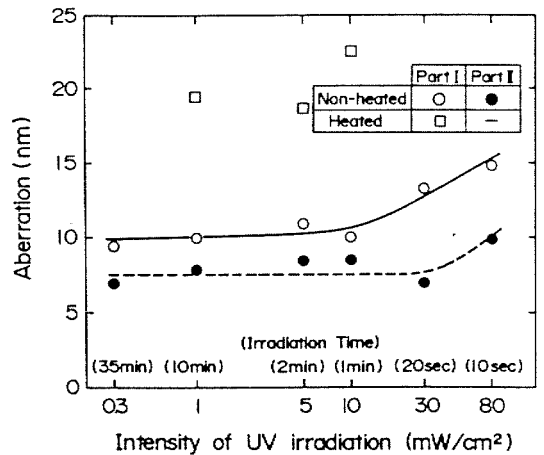


Fig. 8 The relation between the intensity of UV irradiation of UV cure adhesive U2 and the aberration.

線照射強度が $10\text{mW}/\text{cm}^2$ 以下の範囲では波面収差量はほぼ一定であるが、 $30\text{mW}/\text{cm}^2$ 以上の照射強度になると波面収差量が増加することがわかる。強い紫外線で短時間に硬化させると波面収差量が増加するのは、硬化度が高くなり硬化物の硬度が高くなることや、ゆっくり硬化するのにくらべて硬化収縮中の応力の緩和がおこりにくいために接着層の内部応力が大きくなるためと考えられる。一方、領域Ⅱにおいては領域Ⅰにくらべて波面収差量が増大し始める紫外線照射強度は高くなっているが、これは、領域Ⅱは領域Ⅰにくらべてガラスの厚さが厚いため剛性が高く歪みが発生しにくいことと、反射ミラーの上方から全体に均一な強度の紫外線を照射しているので領域Ⅱの下では領域Ⅰの下にくらべて紫外線の減衰が大きくデータが全体に高強度側にシフトしていることが考えられる。

また、図8より、紫外線照射により部品が昇温すると波面収差量は非常に大きくなることからわかる。温度上昇はベースの側面部を表面温度計で測定した結果 $16\sim 17^\circ\text{C}$ の上昇であった。

3.4. 接着部の形状と接着による光学歪

(1) ミラー後方のベース当り面の高さの影響

光学部品をベースに接着する時の位置決めのためにはベースに当り面をつけるのが効果的である。ここでは、ミラー後方のベース当り面の高さHの影響を、図1の試料(モデルA)を用いて3種類の接着剤(E1, E2, A2)について検討した。接着部はいずれもミラー底面部分全面およびミラー後方の当り面部分である。波面収差量の測定領域は領域ⅠとⅡを合わせた反射面全面である。その結果を図9に示した。この結果より、体積収縮率が非常に小さく硬化物が柔らかい接着剤E1では当り面の高さHの影響は全く見られないが、硬化物が硬い接着剤

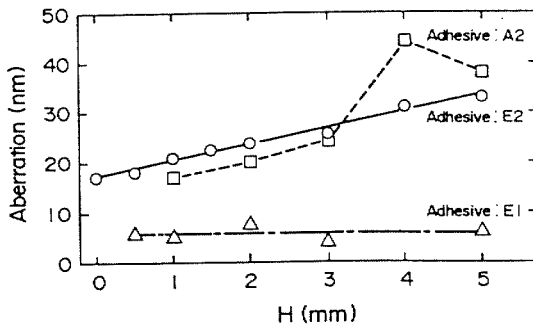


Fig. 9 The relation between H mm in model A specimens and the aberration in part I + II.

E2や体積収縮率が大きい接着剤A2では当り面の高さHが高くなるに従って波面収差量は増大することがわかる。

図10には、接着剤E2でミラー後方のベース当り面の高さが0.5, 2, 4 mmの場合について、(1)式より計算したミラー反射面の歪量を示した。歪量は反射面の中央(X=0)での歪量を0として示してある。この結果より、当り面の高さHが高くなると、中心に対して両端部の歪みが増大し、反射面がへこんだ形状になっていることがわかる。

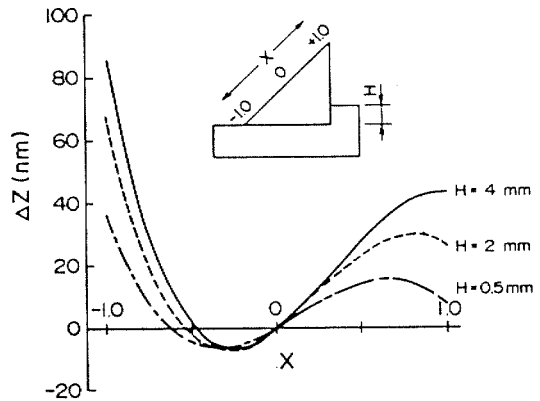


Fig. 10 The relation between X and ΔZ .

(2) ミラー底面の接着部の形状の影響

領域Ⅰは領域Ⅱよりも接着による光学歪が発生しやすいことを既に示したが、領域Ⅰの接着面積を少なくすることによって光学歪が減少するかについて検討した。紫外線硬化型接着剤U2を用いてモデルA(H=1mm), B1, B2, B3の試料について領域Ⅰ及びⅢの波面収差量を測定した結果を表3に示した。接着剤の硬化は紫外線照射強度 $30\text{mW}/\text{cm}^2$ で20秒間である。表3の結果より、モデルB1, B2, B3ではモデルAにくらべていずれも波

Table 3 The aberration on part I and III in the each specimen (Adhesive U2)

	Aberration (nm)	
	Part I	Part III
Model A (H=1 mm)	13.3	8.6
Model B 2	9.4	6.2
Model B 3	9.4	6.2
Model B 1	8.6	5.5

収差量がかなり減少しており、ミラーの厚さが薄い部分の接着面積を減少させることにより光学歪は減少することがわかった。

(3) ミラー側面のベース当り面の影響

紫外線硬化型接着剤 U2 を用いて、モデル C1, C2, C3 の試料についてコマ収差、非点収差、球面収差を測定した。接着剤の硬化は紫外線照射強度 30mW/cm^2 で 20 秒間である。その結果を表 4 に示した。この結果より、モデル C1, C2 を比較するとモデル C1 の方が光学歪がかなり大きく、ミラー側面のベース当り面がミラーの薄い部分に近いと光学歪が生じやすいことがわかる。なお、モデル C3 ではモデル C2 よりさらに光学歪は小さくなっているが、これは側面の当り面で接着されていないことと側面の当り面の手前の溝の分だけミラー底面および後方当り面の接着面積が減少したことによるものと考えられる。

Table 4 The aberration on part III in the each specimen (Adhesive U2)

	Aberration (nm)		
	Astigmatism	Coma	Spherical
Model C1	18.7	21.8	13.3
Model C2	7.8	14.8	4.7
Model C3	2.3	3.1	4.7

4. 結 言

本研究では、斜面に反射機能をもつプリズム形状のガラス製ミラーとアルミ製ベースの接着において、ミラー反射面の光学歪に及ぼす接着剤の種類、硬化条件、接着部の形状、ミラー斜面内の測定領域などの影響を光学干渉計による収差測定により検討した。

その結果次のことがわかった。

- (1) 接着によって生じる光学歪は接着剤の硬化時の体積収縮率と硬化後のヤング率に依存しており、収縮が大きくしかも硬化後のヤング率が高い場合に歪は大きいと考えられる。
- (2) エポキシ系接着剤では硬化温度の上昇に伴い光学歪は大きくなる。

(3) 紫外線硬化型接着剤では紫外線照射強度が大きいほど光学歪は大きくなる。また、紫外線照射により試料の温度上昇が起ると光学歪は大きくなる。

(4) 光学歪はガラスの厚みに依存し、ガラスが薄いほど光学歪は大きいと思われる。

(5) 接着部の形状は光学歪みに大きく影響する。歪が発生しやすいプリズムミラーの厚さが薄い部分での接着をさける形状が好ましい。

本研究は、第24回接着研究発表会(昭和61年6月12日)及び第25回接着研究発表会(昭和62年7月3日)において講演発表したものに追加実験を行ったものである。

文 献

- 1) 近藤光重, 木目健治朗, 鹿間信介, 河野慶三, 田村義基, 三菱電機技報, **58**, (11), 4 (1984).
- 2) 河野慶三, 木目健治朗, 近藤光重, 鹿間信介, 橋本昭, 三菱電機技報, **60**, (3), 25 (1986).
- 3) 久山浩二, O plus E, (76), 66 (1986).
- 4) 鹿間信介, 都出英一, 近藤光重, 橋本昭, 木目健治朗, 光メモリシンポジウム'86講演論文集, 105 (1986).
- 5) 木目健治朗, 橋本昭, 阪部茂一, プラスチックエージ, **34**, (8), 133 (1988).
- 6) 伊藤和夫, 北村正史, 中村和夫, 杉本和彦, 工藤敏行, 市浦秀一, 川上浩一, SANYO TECHNICAL REVIEW, **20**, (1), 30 (1988).
- 7) 篠田昌久, 近藤光重, 光学, **15**, (4), 326 (1986).
- 8) 土沼健一, 武沢初男, 東芝レビュー, **40**, (7), 600 (1985).
- 9) 大橋邦暁, 山本明道, 中浜丈博, 中谷孝司, 精機学会秋季大会学術講演会論文集, 609 (1985).
- 10) N. SEO, Soc. of Manuf. Eng., No. FC84-980 (1984).
- 11) 瀬尾直行, 志賀直仁, 岩淵順一, 白井道雄, 治武孝枝, 日本接着協会誌, **21**, (10), 8 (1985).
- 12) 瀬尾直行, 志賀直仁, 岩淵順一, 白井道雄, 高分子論文集, **44**, (10), 717 (1987).
- 13) 柳川克彦, 時光富士雄, 第26回接着研究発表会講演要旨集, 141 (1988).
- 14) 中村孔三郎, 丸野透, 電気通信研究所研究実用化報告, **35**, (11), 1227 (1986).
- 15) Zygo Corp., FRINGE (WISP) manual.

Effects of Some Factors on the Aberration of the Optical Mirror Caused by Adhesive Bonding.

Kazuyoshi TERAMOTO, Tetsuya NISHIKAWA and Kousuke HARAGA

Materials and Electronic Devices Laboratory, Mitsubishi Electric Corp.
1-1, Tsukaguchi-Honmachi, 8-Chome, Amagasaki, Hyogo, 661, Japan**Abstract**

We investigated the effects of some factors on the aberration of the optical mirrors caused by adhesive bonding. The optical glass mirror is a rightangled isosceles triangular prism in shape. The mirror was bonded to the aluminum base by adhesives and the aberration on an inclined plane on the mirror was measured by an interferometer. The factors examined were the kind of adhesives, the curing condition of adhesives, the measuring part on an inclined plane and the shape of the bases. The results were as follows:

- (1) It seems that the aberration caused by adhesive bonding depends on both the coefficient of volume contraction in curing of adhesive and the Young's modulus after curing, and that it is larger in the case of larger contraction and higher modulus.
- (2) In the case of epoxy adhesives, as the curing temperature rises, the aberration gets larger.
- (3) In the case of UV curing adhesives, as the intensity of UV irradiation gets stronger and the temperature of the specimen is raised by UV irradiation, the aberration gets larger.
- (4) It seems that the aberration depends on the thickness of the glass, and that it is larger in the case of the thinner glass.
- (5) The aberration is remarkably dependent on the shapes of the bases.

(Received : January 23,1989)