beobachten, die mit einer gleichzeitigen Erhöhung der mechanischen Dämpfung verbunden ist.

3. Ergebnis

Die auffallende Parallelität der mechanischen Eigenschaften der alkaliarmen Gläser, wie Pyrex und Duran 50, sowie der alkalireichen Gläser, wie Jenaer Normalglas 16^{III} oder Stolberger Spiegelglas, legt die Vermutung nahe, daß nur Gläser mit hoher mechanischer Dämpfung, vor allem wenn sie ein Dämpfungsmaximum in der Nähe der Raumtemperatur besitzen, einen einwandfreien Mikrohärteeindruck gestatten, während Gläser mit geringer Dämpfung sich ausgesprochen spröde verhalten. Werden die Gläser abgeschreckt, so steigt sowohl ihre mechanische Dämpfung als auch ihre Mikroduktilität. Die Bilder 5a und 5b zeigen Aufnahmen von einwandfreien und ausgemuschelten Mikroeindrücken in Gläsern.

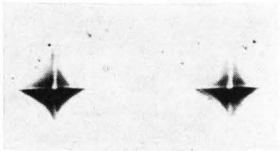

Bild 5a
Eindruck einer Diamantpyramide in Jenaer Normalglas N 16^{III}.
(Vergrößerung 400fach)

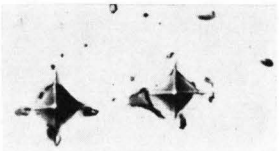

Bild 5b
Eindruck einer Diamantpyramide in Pyrexglas.
(Vergrößerung 400fach)

Der Leitung des Zentrallaboratoriums der Vereinigten Glaswerke Aachen sowie meinen Mitarbeitern sei hier mein Dank für ihre Unterstützung und Mithilfe ausgesprochen.

4. Schrifttum

[1] Zener, Cl.: Elasticity and anelasticity of metals. London: Cambridge Univ. Press 1948.
[2] Rötger, H. und Bennewitz, K.: Über die innere Reibung fester Körper. Phys. Z. **37** (1963) S. 578—588.
[3] Dietzel, A. und Deeg, E.: Temperaturabhängigkeit von innerer Reibung, Schallgeschwindigkeit und Elastizitätsmodul von Glas. Glastechn. Ber. **27** (1954) S. 105—116.
[4] Hoffman, L. C. und Weyl, W. A.: Survey of effect of composition on the internal friction of glass. Glass Ind. **38** (1957) S. 81—85, 104—105. [Ref. Glastechn. Ber. **30** (1957) S. 441.]
[5] Rötger, H. Über das elastische Relaxationsverhalten von einfachen und gemischten Alkalisilikaten und von Borax. Glastechn. Ber. **31** (1958) S. 54—60.
[6] Hilbert, K.: Temperaturabhängigkeit der inneren Reibung und des Elastizitätsmoduls von Gläsern. Silikattechn. **7** (1956) S. 394—399. [Ref. Glastechn. Ber. **32** (1959) S. 173.]
[7] Rötger, H.: Neuere Erkenntnisse über das Relaxationsverhalten der Gläser. Silikattechn. **10** (1959) S. 57—62. [Ref. Glastechn. Ber. **35** (1962) S. 253.]
[8] Jagdt, R.: Untersuchungen von Relaxationserscheinungen an Alkali-Silikat-Gläsern. Glastechn. Ber. **33** (1960) S. 10—19.
[9] Petzold, A., Wihsmann, F. G. und v. Kamptz, H.: Die Mikrohärte einiger Silikatgläser und ihre atomistische Deutung. Glastechn. Ber. **34** (1961) S. 56—71.
[10] Douglas, R. W.: Some comments on indentation tests on glass. J. Soc. Glass Technol. **42** (1958) S. 145—157. [Ref. Glastechn. Ber. **33** (1960), S. 340.]

(39368)

DK 535.417:535.853.4:539.24:620.179.6:539.211:666.11.01

Anwendung der Vielstrahlinterferometrie zur Untersuchung von Mikrostrukturen auf Glasoberflächen

Von Klaus Berger und Gerhard Simonsohn, Berlin

(Mitteilung aus dem I. Physikalischen Institut der Freien Universität Berlin)

(Eingegangen am 19. Februar 1964)

Es wird über die wichtigsten Ergebnisse einer Arbeit berichtet, die sich mit vielstrahlinterferometrischen Untersuchungen an verschiedenen Glasoberflächen befaßt. Das Hauptgewicht der Diskussion liegt auf der Frage, inwieweit die für das Verfahren erforderliche Silber-Aufdampfschicht die Struktur der Glasoberfläche richtig wiedergibt.

Die optischen Interferenzerscheinungen im Luftspalt zwischen Glasoberflächen sind Erscheinungen der Zweistrahlinterferenz. Erhöht man das Reflexionsvermögen der Oberflächen durch eine dünne, teildurchlässige Metallschicht, so entsteht Vielstrahlinterferenz. Mit wachsendem Reflexionsvermögen nimmt die Halbwertsbreite der Interferenzstreifen ab; entsprechend steigt die Genauigkeit, mit der man Streifenversetzungen, also Unebenheiten der Oberflächen registrieren kann. Verwendet man als Metallschicht eine im Hochvakuum aufgedampfte Silberschicht von etwa 500 Å Dicke und hält gewisse kritische Versuchsbedingungen ein, so läßt das Interferogramm selbst bei vollständig auspoliertem Glas eine Mikrostruktur der Oberfläche erkennen, die Gegenstand der vorliegenden Untersuchung war. Daß es sich dabei um eine von der Silberschicht reproduzierte Struktur der Glasoberfläche handelt und nicht etwa ganz oder zum Teil um eine Struktur der Silberschicht selbst, wurde in der Literatur bisher nicht in Frage gestellt.

Für eine Reihenuntersuchung wurden mechanisch polierte Oberflächen von 14 verschiedenen Glassorten[1]) herangezogen, ferner die natürliche Oberfläche eines Ziehglases und die Oberflächen von Diapositivplatten, Objektträgern und Deckgläsern. Je zwei gleiche Platten wurden nach gemeinsamem Aufdampfen der Silberschicht zu einem Objekt kombiniert. Die beiden bedampften, einander zugekehrten Oberflächen bildeten einen angenähert planparallel begrenzten Luftspalt von etwa 4 μ Höhe. Das Objekt wurde mit weißem Licht senkrecht beleuchtet und in Auflicht-Beobachtung auf den Spalt eines Spektrographen abgebildet. Die Interferenzstreifen in der Beobachtungsebene des Spektrographen (Streifen gleicher Farbordnung) wurden aus-

[1]) Die Glasproben wurden uns von der Deutschen Spiegelglas AG und von den Askania-Werken Berlin zur Verfügung gestellt. Wir danken insbesondere den Herren Dr. O. Gott und Dipl.-Math. K. Hildebrand für die freundliche Unterstützung.

gewertet. Sie beschreiben die Oberflächenstruktur längs einer Linie, die der Spalt des Spektrographen aus dem Bild des Objektes ausblendet.

Bild 1 zeigt einen Interferenzstreifen. Wie man erkennt, verläuft der Streifen nicht geradlinig oder gleichmäßig gekrümmt. Einem mittleren Verlauf dieser Art sind Unregelmäßigkeiten im Kleinen überlagert: Verlagerungen des Schwärzungsschwerpunktes nach links und rechts (d. h. zu größeren und kleineren Wellenlängen) mit Werten in der Nähe der Halbwertsbreite des Interferenzstreifens oder darunter. Einer Verlagerung um die Halbwertsbreite entspricht auf dem Objekt eine Erhöhung oder Vertiefung um weniger als 1/100 Wellenlänge. Der Abstand benachbarter Verlagerungen gibt den Abstand der entsprechenden Oberflächenelemente auf dem Objekt wieder (siehe den eingetragenen Maßstab).

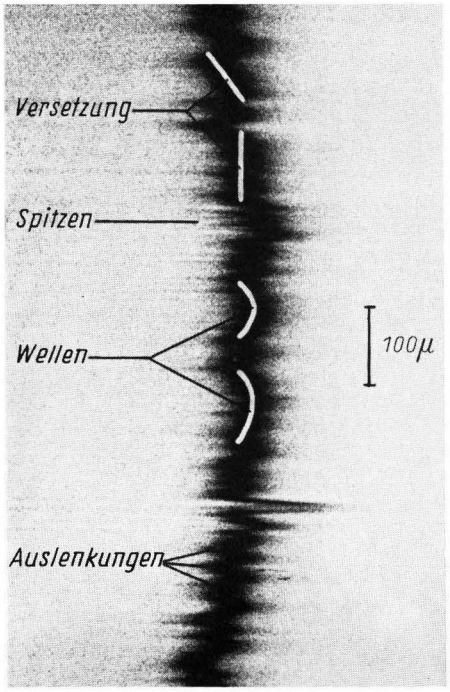

Bild 1. Interferenzstreifen.

Streifen gleicher Farbordnung im Spektralbereich um 5300 Å.

Die Versuchsergebnisse (siehe unten) führten dazu, die Struktur der Interferenzstreifen trotz der kontinuierlichen, oft schwer faßbaren Übergänge als Überlagerung dreier Strukturformen zu beschreiben.

(a). Strukturform I: „Versetzungen" und „Wellen", in Bild 1 durch die weißen Striche und Kreisbögen angedeutet; gröbste Struktur; „Periode" (Länge der Striche und Kreisbögen) 100 μ und darüber.

(b). Strukturform II: „Auslenkungen"; mittlere Struktur; Zickzack-Verlauf des Interferenzstreifens mit noch leidlich gut definierten Schwärzungsschwerpunkten; „Periode" um 10 μ.

(c). Strukturform III: „Spitzen"; feinste Struktur, seitliche Ausläufer des Interferenzstreifens ohne erkennbaren Zusammenhang miteinander; gegenseitiger Abstand in der Größenordnung 1 μ; Länge der Ausläufer wegen des langsamen Schwärzungsabfalls schwer zu beurteilen.

Strukturform I wurde bei den Auswertungen im Rahmen der vorliegenden Arbeit außer acht gelassen. Im Blick auf die übrigen Ergebnisse ist aber die Feststellung wichtig, daß es sich hierbei sehr wahrscheinlich um eine von der Silberschicht nicht verfälschte Struktur der Glasoberfläche handelt, wie sie auch durch vielstrahlinterferometrische Messungen anderer Art [1], [2] und — an Oberflächen ohne Silberbelag — mit dem Phasenkontrast-Verfahren [3 und 4] nachgewiesen wurde.

Hauptziel der Arbeit war es, bei den verschiedenen Objekten nach Unterschieden in der Strukturform II zu suchen. Es wurden einige Hundert Interferogramme ausgewertet. Das Ergebnis war negativ. Bei allen Objekten ließen die Auslenkungen der Interferenzstreifen auf mittlere Höhendifferenzen von $\pm$ 10 Å schließen (mit einer Reproduzierbarkeit von 2 Å); einheitlich ergab sich auch für den mittleren Abstand der Erhöhungen, bzw. Vertiefungen, auf den Objektoberflächen der oben genannte Wert von 10 μ. Als Besonderheit zeigte sich lediglich, daß bei einigen Objekten (Glassorten LF 4, bzw. B 260 GP) die Streuung der Auslenkungen um ihren Mittelwert etwas kleiner, bzw. größer war als bei den übrigen Objekten.

Anders als bei der Strukturform II zeigten sich bei den „Spitzen" (Strukturform III) von Interferogramm zu Interferogramm oft Unterschiede in der Häufigkeit und Länge. Doch war ein bestimmter Typ der Spitzen-Struktur nicht einer bestimmten Glasoberfläche zuzuordnen. Wurde ein Spiegelpaar nach Ablösung der Silberschicht erneut mit Silber bedampft, so blieb der Typ der Spitzen-Struktur im allgemeinen nicht erhalten. Besser stimmten Objekte verschiedener Gläser (und Oberflächenbearbeitung) nach gemeinsamer Bedampfung überein. Daraus ist zu schließen, daß die Spitzen-Struktur erst durch die Silberschicht entsteht (wobei die Unterschiede von Bedampfung zu Bedampfung nicht durch absichtliche Änderung der Parameter des Bedampfungsvorgangs hervorgerufen wurden).

Es entsteht die Frage, ob auch die Strukturform II auf die Silberschicht zurückzuführen ist. Als ein Schritt zur Klärung dieser Frage wurden Experimente an einem anderen Objekt durchgeführt (Glasfolienspiegel; siehe Bild 2). Eine Glasfolie, durch Aufblasen einer kleinen Kugel hergestellt, wurde auf beiden Seiten mit einer Silberschicht bedampft. Statt des Luftspalts beim normalen Objekt ist jetzt die Glasfolie selbst „Interferenzraum". Der entscheidende Unterschied liegt darin, daß hier die Interferenzerscheinung vornehmlich durch die Reflexion an der Grenzfläche Glas/Silber bestimmt wird, während beim normalen Objekt die Reflexion an der Grenzfläche Luft/Silber maßgebend ist. Sollten beide Grenzflächen verschiedene Struktur haben (Eigenstruktur der Silberschicht), so wären die Interferenzerscheinungen am Glasfolienspiegel dadurch ausgezeichnet, daß sie die Verhältnisse in unmittelbarer Umgebung der Glasoberfläche wiedergeben.

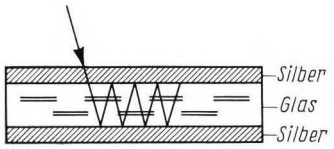

Bild 2. Glasfolienspiegel.

Die Interferenzstreifen zeigten eine geringere Struktur als beim normalen Objekt. Der Mittelwert der Auslenkungen betrug $\pm$ 5 Å gegenüber $\pm$ 10 Å beim nor-

malen Objekt. Demnach wäre — wenn man eine Eigenstruktur der Silberschicht zunächst ausschließt — die Oberfläche der Glasfolien besser als die aller untersuchten normalen Objekte. Dieser Deutung steht im Wege, daß sich unter den normalen Objekten Diapositivplatten, Objektträger und Deckgläschen befanden, deren Oberflächen u. W. auch nicht durch mechanische Politur entstehen. Die Autoren halten es für wahrscheinlicher, daß die Struktur von $\pm$ 10 Å beim normalen Objekt ein Charakteristikum der Silberschicht ist. Auch die Gleichförmigkeit dieser Struktur bei allen untersuchten Objekten spricht dafür. Es bleibt dann offen, welche Glasstruktur darunter verborgen ist; es könnte eine Struktur von $\pm$ 5 Å sein, wie sie an den Glasfolienspiegeln gemessen wurde.

Die Strukturform II (erst recht die Strukturform III) liegt offenbar nahe bei einer Auflösungsgrenze der Vielstrahlinterferometrie. Der Verlauf des Interferenzstreifens entspricht nicht der „makroskopischen" Erwartung, daß Streifenstücke gleichen Profils in stetigem oder unstetigem Übergang seitlich versetzt sind. Dementsprechend ist die Meßvorschrift für die Größe „Auslenkung" in gewissem Rahmen willkürlich. Für jede Meßvorschrift einzeln dürfte die Genauigkeit, mit der Vergleiche durchgeführt werden können, den genannten Wert von $\pm$ 2 Å besitzen. Bezieht man aber die Willkür in der Wahl der Meßvorschrift ein, so entsteht für die mittleren Höhendifferenzen ein größeres Fehlerintervall. Die von uns angegebenen Werte liegen an dessen unterer Grenze.

Der Schluß von Auslenkungen des Interferenzstreifens auf Höhendifferenzen am Objekt ist nicht eindeutig. Jede örtliche Variation der optischen Konstanten des Glases oder der Silberschicht, die zu einer Änderung des Phasensprungs bei der Reflexion führt, wirkt sich im Interferogramm wie eine Höhendifferenz aus. Beim gegenwärtigen Stand der Einsicht ist auch diese Deutungsmöglichkeit im Auge zu behalten.

Die Experimente und Ergebnisse, die der vorliegenden Mitteilung zugrunde liegen, sind ausführlich in einer Diplomarbeit [5] dargestellt; in die Diskussion ist dort auch die vorhandene Literatur einbezogen. Ein Bericht wurde bereits auf der Jahrestagung 1963 der Deutschen Gesellschaft für angewandte Optik gegeben [6]. Dort wurde auch auf eine andere vielstrahlinterferometrische Beobachtung von Mikrostrukturen hingewiesen [7], der jedoch quantitativ bisher nur der Abstand benachbarter Oberflächenelemente (nicht deren Höhendifferenz) entnommen werden konnte.

Die Verfasser sind Herrn Prof. Dr. H. Lassen für die Förderung der Arbeiten zu großem Dank verpflichtet.

Schrifttum

[1] Koppelmann, G. und Krebs, K.: Zur Technologie des Pérot-Fabry-Interferometers. Optik **18** (1961) S. 358 bis 372.

[2] Heavens, O. S.: Measurement of the thickness of thin films by multiple-beam interferometry. Proc. Phys. Soc. (Lond.) **64B** (1951) S. 419—425.

[3] Martin, L. C. and Ramsay, J. V.: Experimental investigation of the structure of transparent glass surfaces using phasecontrast illumination; Contraste de phase et contraste par interférences. Paris: Edition de la Revue d'Optique 1952, S. 164—171.

[4] Texereau, J.: Application du contraste de phase à l'étude des petits défauts de polissage de surfaces optiques engendrés par différents techniques; Contraste de phase et contraste par interférences Paris: Edition de la Revue d'Optique 1952, S. 172—185.

[5] Berger, K.: Vielstrahlinterferometrische Untersuchung der Mikrostruktur auf Glasoberflächen mit Silber-Aufdampfschicht. Diplomarbeit, Freie Universität Berlin 1964.

[6] Berger, K.: Vielstrahlinterferometrische Untersuchung von Mikrostrukturen auf Glasoberflächen mit Silberbelag. Optik **20** (1963) S. 456—464.

[7] Simonsohn, G.: Zur Oberflächenuntersuchung durch Vielstrahlinterferenz: Nachweis von Mikrostrukturen durch Schattenwurf in Hohlleiterwellen. Optik **20** (1963) S. 465—470. (40363)

Referate

1c. Chemie, Glassätze

DK 666.11.016.22:666.263.2

Alabasterglas. Fritz Jochmann. — Sprechsaal **96** (1963) Nr. 10, S. 227—230.

Der Verf. befaßt sich in einem Artikel vor allem mit der Herst. von Alabaster. Nach einem kurzen geschichtlichen Rückblick kommt er auf die versch. Glassätze zu sprechen. Auffallend ist, daß in allen Glassätzen mit den Trivialnamen, wie Knochenasche, Holzpottasche, Federweiß, Guano, gearbeitet wird. Hier hat sich der Verf. die Mühe gemacht und diese Substanzen in ihre einzelnen chem. Bestandteile analysiert, die er dann zur weiteren theor. Berechnung des entstehenden Glases verwendet. Es handelt sich bei allen Gläsern fast um reine Pottaschegläser, die bei den Ausarbeitungstemp. sehr viskos sind und sich daher schwer verarbeiten lassen. A. Schillmöller. (39441/1c)

DK 546.36:666.11.01:666.112.9:546.273

Einfluß von Caesium auf die Eigenschaften von Silikat- und Boratgläsern. (Orig. russ.) M. A. Bezborodov und N. M. Bobkova. — Belorus. Politekh. Inst. Nauk. Issledovatel. Lab. Silikatov i Stekla 1958, S. 3—42.

Für 13 Zusammensetzungen von Cs_2O-SiO_2, für 49 von Cs_2O-CaO-SiO_2, für 96 von Na_2O-SiO_2-Al_2O_3-Cs_2O und für 44 Zssg. von Cs_2O-PbO-B_2O_3 werden Entglasung, Brechungsindex und Wärmeausdehnungskoeffizient (α) angegeben. Bei gleichen Molverhältnissen wirkt sich Cs stärker auf die Eigenschaften aus als Li, Na oder K und erzielt die höchste Viskosität und den größten Wärmeausdehnungskoeffizienten. Ternäre Silikate hatten Brechungsindices zwischen 1,518 und 1,569 und Wärmeausdehnungskoeffizienten zwischen 8,7 und $19{,}6 \cdot 10^{-6}$. Quartäre Silikate ergaben ähnliche Werte. Boratglas schmolz unterhalb 800 °C, erweichte bei 120—140 °C, hatte einen Wärmeausdehnungskoeffizienten von 14 bis $28 \cdot 10^{-6}$ und einen Brechungsindex von 1,53 bis 1,75. Die Eigenschaften sind im Phasendiagramm dargestellt. (*40121/1c/Wt.)

DK 666.112.4:748

Deutsches Kristallglas jetzt mit 24% Bleigehalt. Plötzlich war die Pfeife schwerer. Ein Besuch bei Beyer & Co. AG. Wie diese Firma die Umstellung durchführte. Rudolf Stephan. — Porzellan u. Glas **63** (1963) Nr. 12, S. 42—43.

In diesem Bericht wird unter anderem die Problematik skizziert, die die Umstellung auf Gläser mit höherem Bleigehalt in verschiedener Hinsicht für einen Betrieb mit sich bringt. (40119/1c/St.)

DK 621.315.612.6:666.189.45

Entwicklung eines Dielektrikums aus Glas zur Einbettung elektronischer Teile, das hohen Temperaturen (500 °C) ausgesetzt werden kann. (Development of high-temperature (500 °C) inorganic glass dielectric for embedding electronic parts.) T. W. Weber und P. S. Hessinger. — U. S. Govt. Research Repts. **36** (1961) S. 24. (Erschienen auch als: Publication Board. Best.-Nr. BP Rept. 154495, S. 73.)