IPD-Glas (Into Surface Embedded Antenna)

Abstract

Das Projekt IPD-GLAS fokussiert sich auf die Weiterentwicklung der 3D Glasstrukturierung mit SLE von 200 mm Glaswafern, insbesondere in der Anwendung von Schott AF32eco und Quarzglas-Wafern. Hierzu wurde am ILT der Laser-Bearbeitungsbereich erweitert, Hatching- und Slizingansätze für komplex geformte Kanalstrukturen entwickelt. Neben Verfahren zur Bearbeitung stark gedünnter Wafer und angepasster Strahlparameter wurde auch das Ätzverfahren für Aluminium-Silikat Gläser verbessert werden. Das ISIT hat sein Aluminium Schmelz-Befüllungsverfahren für lange 3D Kanalstrukturen weiterentwickeln. Mit dem Fraunhofer IAF werden Demonstratoren für 5G/6G Frontend IPD realisiert.

1. Einleitung

Für die Herstellung vertikal ausgerichteter elektrisch leitfähiger Durchführungen durch Wafersubstrate sind verschiedene konkurrierende Technologien bekannt, die entweder auf der Verwendung von Loten oder galvanisiertem Kupfer für die Füllung der Vias basieren. Diese Verfahren benötigen zusätzlich eine Haftvermittlerschicht, um eine Bindung zwischen dem Substrat und der metallischen Durchführung zu erreichen. Das macht den Herstellungsprozess nicht nur deutlicher aufwändiger und schränkt deren Möglichkeiten auf rein vertikale Vias ein, sondern führt aufgrund des Skin Effekts auch zu schlechteren Hochfrequenzeigenschaften, da der Strom sich mit steigender Frequenz in der Oberfläche konzentriert, also dem schlechter leitenden Haftvermittler. Alternative Herstellungsverfahren nutzen in Glas eingebettete Stiftvias aus hochleitfähigem Silizium oder Wolfram, beides wenig geeignet für Hochfrequenz und quantentechnologische Anwendungen.
Die Druckbefüllung von Durchgangsbohrungen in dielektrischen Substraten mit einer Aluminium-Schmelze, ist eine völlig neue Technologie. Kanalstrukturen mit unterschiedlichen Geometrien hinsichtlich Lochdurchmesser, Flankenwinkel, Kanalneigung und Kanallänge können befüllt werden.

IPD-Glas hat die Herstellung von 3D-Strukturen in Glassubstraten mittels SLE Laserbearbeitung und nachfolgender nasschemischer Ätzung sowie deren Aluminium-Schmelzbefüllung zur Herstellung passiver elektrischer Bauteile auf Chipebene untersucht.

Die beteiligten Partnerinstitute haben sich auf wichtige Teilaspekte konzentriert:

ISIT: Prozessentwicklung Aluminium Schmelzbefüllung in Fused Silica Chips
ILT: Prozessentwicklung SLE-Verfahren für 3D-Strukturen und Parameterstudie Eagle XG-Glas
IAF: Entwurf von Hochfrequenzfilterstrukturen zur Vermeidung von Hohlraumresonanzen in Hochfrequenz-Split-Block-Strukturen

2. Methodik

ILT Laserbearbeitung

Der SLE-Prozess ist ein zweistufiger Prozess zur Bearbeitung transparenter Dielektrika. Zuerst wird das Material mit ultrakurz-gepulster (UKP) Laserstrahlung modifiziert. Das modifizierte Material hat eine erhöhte Ätzrate gegenüber dem nicht modifizierten Material und wird in einem zweiten Prozessschritt durch nasschemisches Ätzen entfernt. Anschließend folgen weitere Bearbeitungsschritte, falls nötig, wie die Reinigung des Bauteils in einem Ultraschallbecken oder Nachbearbeitung mittels Laserpolitur.

Wichtige Laserparameter sind die Pulsenergie, die Repetitionsrate der Pulse, die Pulsdauer, der Pulsüberlapp, sowie die Polarisation der Laserstrahlung.

Für den SLE-Prozess werden 3D-CAD-Modelle in Vektoren konvertiert. Diese Vektoren liegen in Ebenen senkrecht zur Strahlrichtung des Lasers und werden in das Probenmaterial strukturiert. Sogenannte *Slice*-Vektoren bilden die Kontur des Modells und werden an verschiedenen Positionen in z-Richtung des Modells erzeugt. *Hatch*-Vektoren erzeugen das sogenannte *Filling*. Das *Filling* bildet Kanäle, durch die die Ätzflüssigkeit während dem Ätzprozess fließen kann und so das Bauteil freilegt.

ISIT Schmelzbefüllung

Bei dem Aufbau wurde eine Induktionsspule mit 160mm Durchmesser verwendet, die es möglich machte, eine dicke Graphit Wärmespreizerplatte mit einem Durchmesser von 200mm auf bis zu 800°C induktiv zu erhitzen. Die Graphitplatte wird thermisch isoliert und waagerecht zum Presstempel ausgerichtet. Der Pressstempel wird auf einen bestimmten Druck zugefahren und das flüssig gewordene Aluminium wird in die Kanäle gedrückt. Der Befüllprozess findet in <1sek. statt und der Wafer kann nach einer kurzen Abkühlphase aus der Pressvorrichtung entnommen werden. Eine Hochtemperatur Folie sorgt für Abdichtung zwischen Wafer und Aluminium Folie, sodass keine Schmelze seitlich austreten kann. Je nach Struktur, die befüllt wird, muss der Druck und die Temperaturhaltezeit angepasst werden.

Der Prozess kann derzeit auf Fused Silica, Silizium und auf Schott AF32 Glas angewandt werden. Aufgrund der niedrigeren Schmelztemperatur von Schott BF33 Glas wurde eine Aluminium Kupfer Legierung entwickelt, die mit dem gleichen Verfahren in Lochstrukturen eingebracht werden kann.

3. Ergebnisse

Aluminium Schmelzbefüllung

Die Qualitätsbewertung der Aluminiumbefüllung wurde im ISIT mittels 3D Röntgentomograph durchgeführt. Ebenfalls wurden metallografische Schliffe erstellt und durch eine Baker Ätze das Korngefüge dargestellt.

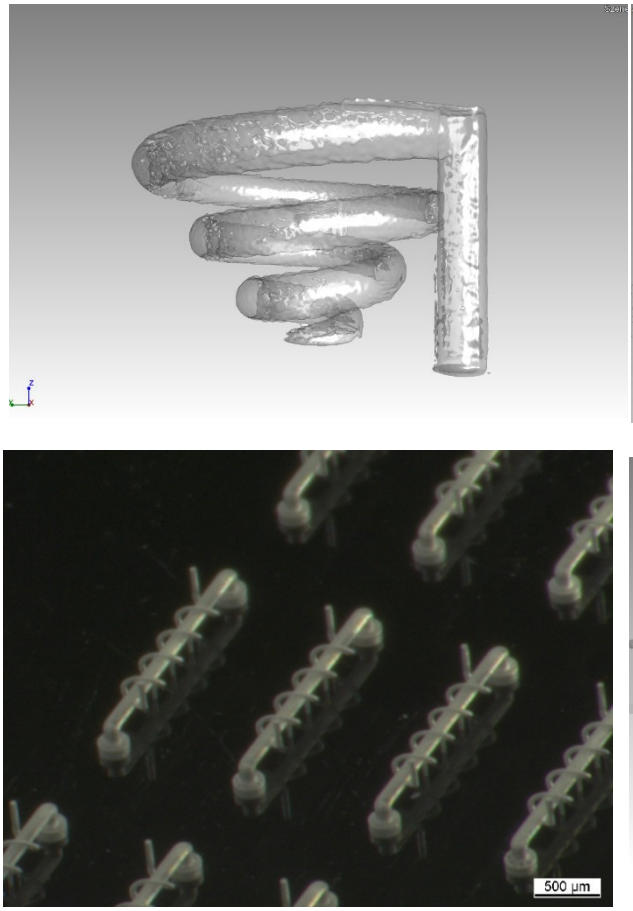

Abbildung 1: CT-Aufnahmen von Spiral und Spulen Probe mit ungefülltem Fluidkanal

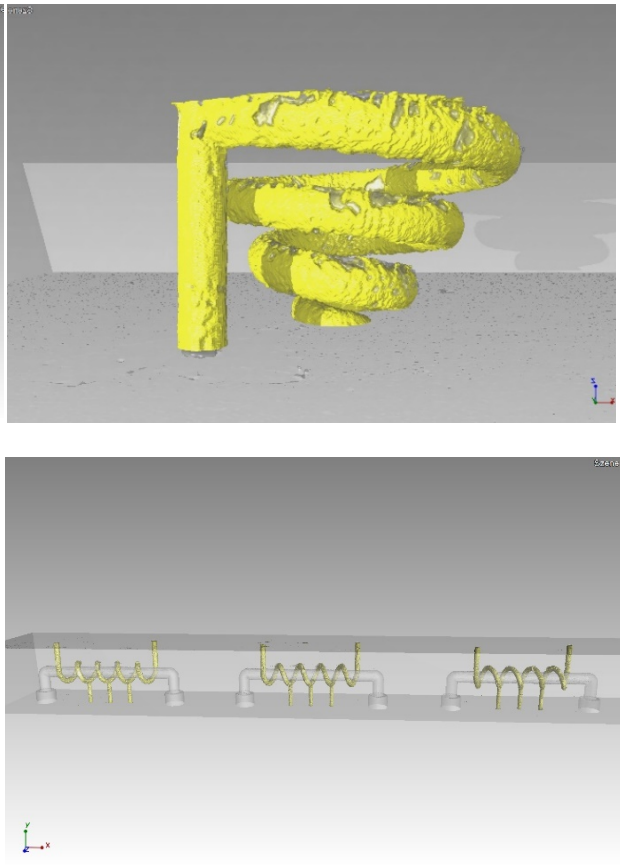

Abbildung 2: CT-Aufnahmen von Spiral und Spulen Probe mit AL befüllt. Der Fluidkanal hat öffnungen zur gegenüberligenden Substratseite

Die Spirale mit Anstich und die Spule konnte vom Fraunhofer ILT angefertigt werden und durch das Fraunhofer ISIT vollständig mit Aluminium befüllt werden. Die Befüllung wurde einseitig durchgeführt und das Aluminium auf der Befüllseite durch Schleifen abgetragen. Die Proben bestanden aus Quarzglas mit einer Dicke von 1,6mm.

Die gelb eingefärbten Kanäle zeigen den Bereich, der mit Aluminium gefüllt wurde. Es fällt auf, dass die Kanalwandungen nach dem nasschemischen Ätzen sehr rau sind, was ein Einbringen der Schmelze jedoch nicht verhinderte. Lufteinschlüsse, die zu Unterbrechung eines Kanals führen, konnten nicht festgestellt werden. Zur Befüllung sehr langer Kanäle (60µm Ø) von 6mm, wie in der Probe der Spule, wurden 30µm Anstiche vorgesehen, die es möglich machten, Luft entweichen zu lassen.

Neben dem Befüllen von 3D-Strukturen in Glas wurde auch an dem Befüllen von Durchgangslöchern aus dem Vorgänger Projekt CAPS Insurf weitergearbeitet.

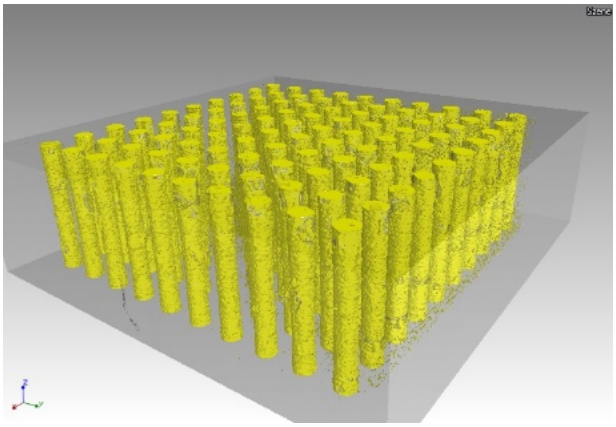

Abbildung 3: CT-Aufnahme gefüllter Testcoupon mit 60µm Vias im Pitch von 120µm

4. Anwendungen

- Quantentechnologien
- Hochfrequenzanwendungen
- 2.5D Technologie
- MEMS

5. Fazit

In dem Projekt IPD-Glas konnte erfolgreich gezeigt werden, dass es möglich ist, komplexe 3D Strukturen in Quarzglas mittels des SLE-Verfahrens herzustellen und vollständig mit Aluminium zu befüllen. Das ILT konnte erfolgreich Parameter zum Laserbearbeiten und Ätzen der Proben erarbeiten. Einzig die hohe Rauigkeit der Kanalwände und das Reinigen der

langen Kanäle nach dem Ätzen gilt es weiter zu untersuchen, um ein homogeneres Befüllen zu ermöglichen.

Die vom Fraunhofer ISIT entwickelte Schmelzbefüllung konnte ebenfalls erfolgreich demonstriert werden. Es zeigen sich homogene Füllungen von Kanallängen bis zu 6mm mit einem Durchmesser von 60µm. In Zukunft muss an der Oberflächen Konditionierung der gefüllten Wafer weitergearbeitet werden, um die weitere Prozessierung im Reinraum zu ermöglichen.

6. Literaturverzeichnis

Ahmed, O., Okoro, C., Pollard, S. and Jiang, T. (2021), "The effect of materials and design on the reliability of through-glass vias for 2.5 D integrated circuits: a numerical study", Multidiscipline Modeling in Materials and Structures, Vol. 17 No. 2, pp. 451-464. https://doi.org/10.1108/MMMS-05-2020-0125

Dow, Wei-Ping. "Microvia and through-Hole Filling By Electroplating for Electronic Circuit Fabrication." Electrochemical Society Meeting Abstracts 227. No. 15. The Electrochemical Society, Inc., 2015.