

Teil 1 Kurzbericht

zum Teilvorhaben „Erforschung neuer Beschichtungstechnologien für hochreines und granulares Aluminium in hochintegrierten supraleitenden Quantenschaltungen“

im Verbundprojekt „Hochintegrierte supraleitende Nanostrukturen für Quantentechnologien (SuperLSI)“

Laufzeit des Vorhabens: 01.01.2022 - 31.12.2024

1) Aufgabenstellung und Stand der Technik vor Vorhabensbeginn

In der wissenschaftlichen Community wurden bereits Untersuchungen zur Realisierung supraleitender Schaltungen im Labormaßstab auf kleinen Substraten erfolgreich durchgeführt. Die Aufgabe innerhalb des Verbundprojektes bestand in der reproduzierbaren Herstellung der supraleitenden funktionellen Komponenten sowie kompletten Schaltungen mit den nötigen Qualitätsparametern.

Im Bestec Teilvorhaben sollten die gerätetechnischen Voraussetzungen zur Abscheidung der notwendigen funktionellen Schichten auf Standard Wafersubstraten durch die Entwicklung der notwendigen Anlagentechnik geschaffen werden.

Auf Grundlage der aktuell verfügbaren Information und des aktuellen Stands der Wissenschaft wurde ein Lastenheft für die Konstruktion der UHV-Kammern und die Umrüstung der Versuchsanlage erstellt. Dabei wurde basierend auf Erfahrungen von Projektpartnern und anderer BESTEC-Kunden entschieden die Beschichtung hochreinen Aluminiums mittels Elektronenstrahlverdampfung durchzuführen und die Beschichtung granularen Aluminiums mittels Magnetronputtern.

Ebenfalls in Absprache mit den Projektpartnern sollten die zu entwickelnden Versuchsanlagen Zunächst bei Bestec gebaut und getestet werden sowie anschließend im IPHT Jena an die Wissenschaftler übergeben werden.

Um Synergien bei der Prozessierung der Wafer mit bereits am IPHT verfügbaren Anlagenkomponenten zu schaffen, sollten die Versuchsanlagen in ein existierendes Clustertool integriert werden.

2) Realisierung des Vorhabens

Entsprechend der Aufgabenstellung und den Abstimmungsergebnissen zwischen den Projektpartnern wurden zwei spezielle Beschichtungsmodule zur Realisierung von Beschichtungstechnologien für hochreines und granulares Aluminium in hochintegrierten supraleitenden Quantenschaltungen entwickelt.

Besondere Aufmerksamkeit bei der Entwicklung der Beschichtungsmodule lag in der Realisierung eines Hochreinen und sehr guten Ultrahochvakuums als Basis für eine störungsfreie Schichtbildung während des Prozesses.

Ein zweiter wichtiger Faktor bei der Realisierung der notwendigen Schichteigenschaften ist die Freiheit von ferromagnetischen Materialien, wie sie bei den standardmäßig eingesetzten Anlagenkomponenten in geringem Maße freigesetzt werden können.

Für das Magnetronspütern wurde eine spezielle Quelle entwickelt, die im Bereich der Plasmabildung und somit bei der Herauslösung des abzuscheidenden Aluminiums keine Ferromagnetika mehr herauslöst und am Substrat abscheidet. Dies wurde durch die Substitution einzelner Quellenkomponenten durch andere Materialien realisiert. Ebenso wurde die verwendete Ionenquelle zur Substratreinigung in der Elektronenstrahlverdampfkammer für die Reduzierung an Ferromagnetika modifiziert. Um die zwei neuen Beschichtungsmodule in die bereits vorhandene Prozesskette am IPHT integrieren zu können, war es notwendig, das existierende Clustertool zu erweitern. Ein komplett neues Verteilersystem war notwendig, um dem erhöhten Platzbedarf mit zwei zusätzlichen Beschichtungsmodulen gerecht zu werden. Es wurde eine komplett neue Anlagensteuerung entwickelt, um das existierende System mit den neuen Modulen zu vereinen.

Bei der Abarbeitung des Projektes kam es zu erheblichen Verzögerungen, die einerseits den zunehmenden Lieferzeiten bei Schlüsselkomponenten und andererseits den für Bestec erheblichen Folgen der COVID Pandemie geschuldet sind. Trotz Auslieferung und Installation der Module zum Jahreswechsel 2023/2024 mussten am IPHT noch wesentliche Änderungen bzw. Anpassungen resultierend aus den ersten Vor-Ort Tests durchgeführt werden.

3) Wesentliche Ergebnisse

Innerhalb des Projektes konnte gezeigt werden, dass die wafer-skalige Beschichtung von ultrareinen als auch granularen Aluminiumschichten zur Realisierung supraleitender Quantenstrukturen möglich ist.

Durch die Entwicklung einer speziellen und auf die hohen Anforderungen an Reinheit abgestimmten Magnetron-Sputterquelle ist es möglich, eine Aluminiumschicht zu erzeugen, die frei von ferromagnetischen Fremdkörpern ist. Die neu entwickelte Sputterquelle kann in verschiedenen Größen zur Beschichtung verschieden großer Substrate hergestellt werden. Die Produktion der Quelle wird von einem Kooperationspartner von Bestec realisiert.

Auch die Modifikation einer Standard-Ionenquelle, welche bei der Beschichtung durch Elektronenstrahlverdampfen als Prozessunterstützung oder zur Reinigung eingesetzt wird, führte zum gewünschten Ergebnis zur Vermeidung von ferromagnetischen Partikeln bei der Schichtbildung oder der ungewollten Verunreinigung während des Reinigungsprozesses. Bis zum Projektende ist es leider nicht gelungen, den automatisierten Ablauf im speziell angepassten Clustertool zu zeigen. Auch nach Projektende wird Bestec hier intensive Nacharbeiten realisieren, damit das IPHT in die Lage versetzt wird, einen höheren Durchsatz an Substraten bei gleichzeitig hoher Reproduzierbarkeit der zu erzeugenden Schichten zu realisieren.

Bestec wird die neuen bzw. modifizierten Quellen weiter verbessern und einer Vermarktung nicht nur im Bereich der Quantentechnologien zuzuführen.

Die Rahmenbedingungen des Projektes führten leider zu erheblichen Verzögerungen im Ablauf. Die Folgen der COVID Pandemie trafen direkt die personelle Struktur der Firma und führte zu langfristigen Totalausfällen, die nicht kompensiert werden konnten.

Ebenso führten die weltweiten Verwerfungen des Zuliefermarktes bei nahezu allen Hauptzulieferern von Bestec zu dramatisch gestiegenen Lieferzeiten, deren Folgen bis heute nicht überwunden sind.

Auch die stark gestiegenen Kosten für Material, Energie und Personal waren dem Projektfortschritt nicht dienlich.

Abschließend kann trotzdem festgehalten werden, dass das Projektziel im Wesentlichen erreicht wurde.

Berlin, 23.06.2025