



(12) BẢN MÔ TẢ SÁNG CHẾ THUỘC BẰNG ĐỘC QUYỀN SÁNG CHẾ
(19) Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN) (11)
CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ
(51)⁷ H01L 21/60; C22F 1/14; C22C 5/06; (13) B
C22F 1/00



1-0039437

-
- (21) 1-2017-02694 (22) 11/12/2015
(86) PCT/JP2015/084823 11/12/2015 (87) WO 2016/098707 A1 23/06/2016
(30) 2014-255111 17/12/2014 JP
(45) 25/04/2024 433 (43) 25/09/2017 354A
(73) 1. NIPPON STEEL CHEMICAL & MATERIAL CO., LTD. (JP)
13-1, Nihonbashi 1-chome, Chuo-Ku, Tokyo 103-0027, Japan
2. NIPPON MICROMETAL CORPORATION (JP)
158-1 Oaza Sayamagahara, Iruma-shi, Saitama 358-0032 Japan
(72) OYAMADA Tetsuya (JP); UNO Tomohiro (JP); ODA Daizo (JP); YAMADA
Takashi (JP).
(74) Công ty TNHH một thành viên Sở hữu trí tuệ VCCI (VCCI-IP CO.,LTD)
-

(54) DÂY LIÊN KẾT DÙNG CHO THIẾT BỊ BÁN DẪN

(57) Sáng chế đề cập đến dây liên kết có khả năng thỏa mãn đồng thời độ tin cậy liên kết bi và khả năng liên kết nôm theo yêu cầu của các dây liên kết dùng cho các bộ nhớ, dây liên kết bao gồm vật liệu lõi chứa một hoặc nhiều nguyên tố trong số Ga, In, và Sn với tổng lượng nằm trong khoảng từ 0,1 đến 3,0% với phần còn lại được tạo ra từ Ag và tạp chất ngẫu nhiên; và lớp phủ được tạo ra bên trên bề mặt của vật liệu lõi, chứa một hoặc nhiều nguyên tố trong số Pd và Pt, hoặc Ag và một hoặc nhiều nguyên tố trong số Pd và Pt, với phần còn lại được tạo ra từ các tạp chất ngẫu nhiên, trong đó lớp phủ có độ dày nằm trong khoảng từ 0,005 đến 0,070 μm .

Lĩnh vực kỹ thuật được đề cập

Sáng chế đề cập đến dây liên kết dùng cho thiết bị bán dẫn được sử dụng để kết nối các điện cực trên các linh kiện bán dẫn bằng dây dẫn chẳng hạn như các chân cắm bên ngoài của bảng dây nối mạch.

Tình trạng kỹ thuật của sáng chế

Gần đây, đối với các dây liên kết dùng cho thiết bị bán dẫn (dưới đây được gọi là các dây liên kết) để liên kết các điện cực trên các linh kiện bán dẫn với các chân cắm bên ngoài, các dây nhỏ có đường kính xấp xỉ từ 15 đến 50 μm chủ yếu được sử dụng. Đối với phương pháp liên kết dây liên kết, quy trình liên kết bằng nhiệt thường được sử dụng cùng với máy liên kết đa năng, đồ gá mao dẫn được làm thích ứng để kết nối dây liên kết đi qua đó, và dạng tương tự. Quy trình liên kết dây liên kết bao gồm bước nung chảy bằng nhiệt đầu dây bởi đầu vào nhiệt hồ quang, tạo ra phần bi bởi sức căng bề mặt, liên kết bằng áp lực phần bi (dưới đây được gọi là liên kết bi) với điện cực của linh kiện bán dẫn được gia nhiệt nằm trong khoảng từ 150 đến 300°C, sau đó tạo thành vòng, và liên kết bằng áp lực phần dây dẫn với điện cực ở phía chân cắm bên ngoài (dưới đây được gọi là liên kết nêm) để hoàn thành quy trình. Cấu trúc điện cực được làm từ màng hợp kim chủ yếu bao gồm Al và được tạo ra trên nền Si hoặc cấu trúc điện cực mà trong đó điện cực ở phía chân cắm bên ngoài được mạ bằng Ag hoặc Pd thường được sử dụng cho điện cực trên linh kiện bán dẫn mà dây liên kết được liên kết với nó.

Khả năng tạo bi tốt, khả năng liên kết bi, khả năng liên kết nêm, khả năng tạo vòng, và đặc tính khác là cần có đối với dây liên kết. Đối với vật liệu dây liên kết mà thường thỏa mãn các yêu cầu về đặc tính này, Au được sử dụng chủ yếu. Mặt khác, do gần đây giá thành của Au gia tăng, các dây liên kết sử dụng các vật liệu có giá thành rẻ hơn Au đã được phát triển mạnh mẽ. Gần đây, trong lĩnh vực bộ nhớ mà các dây liên kết có sử dụng Au (dưới đây được gọi là các

dây liên kết Au) là chủ đạo, sự phát triển nhằm thay thế Au bằng vật liệu có giá thành rẻ hơn đã diễn ra.

Một lý do của việc các dây liên kết Au được sử dụng trong lĩnh vực bộ nhớ là Au có điện trở thấp và có khả năng liên kết nôm tốt. Điện trở càng thấp, thì dòng điện càng lớn mà có thể được đi qua một dây liên kết. Điều này giúp có thể giảm tổng số các dây liên kết, giảm kích cỡ bộ nhớ, và đạt được năng suất cao. Ngoài ra, Au mềm và có khả năng chống lại tốt đối với hiệu tượng làm hỏng bề mặt như sự oxy hóa bề mặt chẳng hạn. Do đó, các dây liên kết Au, mà có khả năng liên kết nôm tốt ngay cả trong sự liên kết dưới các điều kiện năng lượng thấp, có thể làm giảm sự hư hại đối với các linh kiện bán dẫn trong quá trình liên kết nôm, trong đó sự hư hại là một vấn đề đối với các linh kiện bán dẫn dùng cho các bộ nhớ mà ngày càng được làm mỏng hơn.

Đối với vật liệu mà thỏa mãn các yêu cầu về đặc tính đối với các dây liên kết dùng cho các bộ nhớ và có giá thành thấp hơn Au, Ag đang thu hút sự chú ý. Điện trở riêng của Ag là $1,6 \mu\Omega \cdot \text{cm}$, thấp hơn điện trở riêng của Au là $2,2 \mu\Omega \cdot \text{cm}$, và do đó Ag có ưu điểm so với Au xét về việc làm giảm điện trở riêng. Ngoài ra, môđun đàn hồi của Ag (khoảng $83 \times 10^9 \text{ N/m}^2$) xấp xỉ bằng môđun đàn hồi của Au (khoảng $80 \times 10^9 \text{ N/m}^2$). Ag có điện trở cao đối với hiện tượng làm hư hại bề mặt. Do đó, dây liên kết được làm từ Ag (dưới đây được gọi là dây liên kết bằng Ag) sẽ có khả năng liên kết nôm tốt tương đương với khả năng liên kết nôm của dây liên kết Au.

Tuy nhiên, dây liên kết bằng Ag, mà kém hơn dây liên kết Au về độ tin cậy liên kết của các liên kết bi (dưới đây được gọi là độ tin cậy liên kết bi), được xem xét là khó khăn trong việc đưa vào sử dụng thực tế làm dây liên kết dùng cho các bộ nhớ. Để đánh giá độ tin cậy liên kết bi, thử nghiệm bảo quản ở nhiệt độ cao, thử nghiệm độ ẩm cao ở nhiệt độ cao, và các thử nghiệm khác để đánh giá độ bền bán dẫn ở các điều kiện tăng tốc là có sẵn để sử dụng. Dây liên kết bằng Ag, mà sự tách các liên kết bi với nó xảy ra trong thời gian ngắn hơn so với dây liên kết Au trong thử nghiệm độ ẩm cao ở nhiệt độ cao, có vấn đề trong việc đưa dây liên kết bằng Ag vào sử dụng thực tế làm dây liên kết dùng cho các

bộ nhớ. Điều này là do khi sự tách các liên kết bị xảy ra, các sự kết nối điện bị hư hỏng trong các liên kết bị, gây ra các lỗi của các thiết bị bán dẫn.

Đối với phương pháp giải quyết vấn đề về độ tin cậy liên kết bị, tài liệu sáng chế 1 bộc lộ kỹ thuật tạo hợp kim Ag với Au và Pd, và cho thấy hợp kim Ag-Au chứa từ 0,01 đến 30,00% trọng lượng Au và phần còn lại được tạo ra từ Ag, hợp kim Ag-Pd chứa từ 0,01 đến 10,00% trọng lượng Pd và phần còn lại được tạo ra từ Ag, và hợp kim Ag-Au-Pd chứa từ 0,01 đến 30,00% trọng lượng Au và chứa từ 0,01 đến 10,00% trọng lượng Pd và phần còn lại được tạo ra từ Ag. Đối với phương pháp giải quyết vấn đề về độ tin cậy liên kết bị, tài liệu sáng chế 2 bộc lộ cấu trúc mà trong đó lớp phủ bằng Pd hoặc Pt được tạo ra ở mặt biên ngoài của hợp kim Ag.

Danh mục tài liệu trích dẫn

Tài liệu sáng chế

Tài liệu sáng chế 1: đơn yêu cầu cấp bằng sáng chế Nhật Bản số 2013-139635

Tài liệu sáng chế 2: đơn yêu cầu cấp bằng sáng chế Nhật Bản số 2013-33811

Các tác giả sáng chế đã đánh giá các dây liên kết bằng Ag được bộc lộ trong tài liệu sáng chế liên quan và phát hiện ra rằng, các dây liên kết bằng Ag không thể thỏa mãn các tiêu chuẩn về độ tin cậy liên kết bị và khả năng liên kết nôm mà được yêu cầu đối với dây liên kết dùng cho các bộ nhớ.

Thứ nhất, độ tin cậy liên kết bị được yêu cầu đối với dây liên kết dùng cho các bộ nhớ sẽ được mô tả. Nói chung, độ tin cậy liên kết bị được đánh giá bằng cách thử nghiệm ở nhiệt độ cao hoặc thử nghiệm độ ẩm cao ở nhiệt độ cao. Khi dây liên kết bằng Ag được sử dụng, sự tách các liên kết bị gây ra vấn đề đặc biệt là trong môi trường độ ẩm cao ở nhiệt độ cao. Người ta cho rằng, sự tách các liên kết bị trong thử nghiệm độ ẩm cao ở nhiệt độ cao gây ra bởi sự ăn mòn một phần của hợp chất liên kim loại Ag-Al và sự giảm độ bám dính của bề mặt trung gian giữa Ag và sản phẩm ăn mòn. Thông thường, thử nghiệm được gọi là PCT (Pressure Cooker Test - thử nghiệm bằng nồi áp lực) và thử nghiệm được gọi là

uHAST (unbiased Highly Accelerated temperature and humidity Stress Test - thử nghiệm nhiệt độ gia tăng cao không chệnh lệch và ứng suất ẩm) là thử nghiệm chính trong thử nghiệm độ ẩm cao ở nhiệt độ cao, trong đó PCT được tiến hành ở các điều kiện nhiệt độ 121°C và độ ẩm tương đối 100% trong khi uHAST được tiến hành ở các điều kiện nhiệt độ 130°C và độ ẩm tương đối 85%. Trước đây, các yêu cầu về độ tin cậy liên kết bi đã trở nên nghiêm ngặt hơn, và được yêu cầu đặc tính trong thử nghiệm được gọi là HAST trong đó sự hư hại gia tăng bằng cách áp dụng cho các liên kết bi điện áp lệch là 3,6 V trong môi trường nhiệt độ và độ ẩm của uHAST. Các dây liên kết dùng cho các bộ nhớ cần phải hoạt động tốt ngay cả sau 120 giờ thực hiện HAST.

Tiếp theo, khả năng liên kết nôm được yêu cầu đối với dây liên kết dùng cho các bộ nhớ sẽ được mô tả. Khả năng liên kết nôm được đánh giá dựa vào sự có mặt hoặc vắng mặt của lỗi liên kết trong các liên kết nôm sau khi dây liên kết được liên kết. Lỗi liên kết được xác định ở đây là điều kiện mà trong đó dây liên kết được tách khỏi điện cực phía chân cắm. Dây liên kết dùng cho các bộ nhớ yêu cầu phải không có bất kỳ lỗi liên kết nào khi điện cực Ag ở phía chân cắm bên ngoài được liên kết bằng nôm trong vùng nhiệt độ thấp hơn hoặc bằng 175°C ở điều kiện năng lượng thấp.

Tài liệu sáng chế 1 nêu trên chỉ ra rằng khi được pha tạp với Pd, Au, hoặc nguyên tố tương tự, dây liên kết bằng Ag có thể cải thiện độ tin cậy liên kết bi trong môi trường độ ẩm cao ở nhiệt độ cao. Tuy nhiên, dây liên kết nêu trên không thể thỏa mãn các tiêu chuẩn về độ tin cậy liên kết bi theo yêu cầu của các dây liên kết dùng cho các bộ nhớ. Khi cải thiện độ tin cậy liên kết bi, thì cần phải tăng hàm lượng của các nguyên tố tạo hợp kim, nhưng có vấn đề ở chỗ, dây dẫn trở nên cứng hơn, dẫn đến làm giảm khả năng liên kết nôm. Do đó, khó thỏa mãn đồng thời độ tin cậy liên kết bi và khả năng liên kết nôm theo yêu cầu của các dây liên kết dùng cho các bộ nhớ đơn giản nhờ kết cấu hợp kim Ag. Ngoài ra, do Ag có khả năng hấp thụ lưu huỳnh, có vấn đề ở chỗ, lưu huỳnh hấp thụ vào các bề mặt dây dẫn cản trở sự khuếch tán của Ag trong quá trình liên kết nôm, dẫn đến làm giảm khả năng liên kết nôm.

Tài liệu sáng chế 2 nêu trên chỉ ra rằng dây liên kết được bọc lộ trong đó và được tạo cấu trúc sao cho lớp phủ bằng Pd hoặc Pt được tạo ra trên bề mặt của Ag có thể cải thiện độ tin cậy liên kết bi trong môi trường độ ẩm cao ở nhiệt độ cao. Tuy nhiên, trong đó khi độ tin cậy liên kết bi được xem là khác với các yếu tố hợp thành và độ dày của lớp phủ, dây liên kết nêu trên không thể thỏa mãn các tiêu chuẩn về độ tin cậy liên kết bi theo yêu cầu của các dây liên kết dùng cho các bộ nhớ. Đối với khả năng liên kết nôm, các cải thiện như sử dụng nguyên tố hấp thụ lưu huỳnh thấp hơn Ag trong lớp phủ, nhưng có vấn đề ở chỗ, sự bám dính của bề mặt trung gian giữa lớp phủ và Ag là thấp và lớp phủ được tách khỏi Ag khi liên kết nôm.

Ngay cả khi kết cấu hợp kim Ag và kỹ thuật tạo lớp phủ trên bề mặt của hợp kim Ag được kết hợp, độ tin cậy liên kết bi theo yêu cầu của các dây liên kết dùng cho các bộ nhớ không thể đạt được.

Đối với các lý do nêu trên, người ta phát hiện ra rằng, dây liên kết bằng Ag được bọc lộ trong mỗi tài liệu hoặc sự kết hợp của các tài liệu sáng chế là không thể thỏa mãn đồng thời độ tin cậy liên kết bi và khả năng liên kết nôm theo yêu cầu của các dây liên kết dùng cho các bộ nhớ.

Bản chất kỹ thuật của sáng chế

Vấn đề kỹ thuật cần được giải quyết

Mục đích của sáng chế là đề xuất dây liên kết mà có thể giải quyết các vấn đề nêu trên và thỏa mãn đồng thời độ tin cậy liên kết bi và khả năng liên kết nôm theo yêu cầu của các dây liên kết dùng cho các bộ nhớ.

Phương tiện để giải quyết vấn đề

Dây liên kết theo sáng chế bao gồm: vật liệu lõi chứa một hoặc nhiều nguyên tố trong số Ga, In, và Sn với tổng lượng nằm trong khoảng từ 0,1 đến 3,0% nguyên tử, và phần còn lại được tạo ra từ Ag và tạp chất ngẫu nhiên; và lớp phủ được tạo ra bên trên bề mặt của vật liệu lõi, chứa một hoặc nhiều nguyên tố trong số Pd và Pt, hoặc Ag và một hoặc nhiều nguyên tố trong số Pd và Pt, và phần còn lại được tạo ra từ các tạp chất ngẫu nhiên, trong đó lớp phủ

có độ dày nằm trong khoảng từ 0,005 đến 0,070 μm .

Hiệu quả của sáng chế

Sáng chế có thể thỏa mãn đồng thời độ tin cậy liên kết bi và khả năng liên kết nôm.

Mô tả chi tiết sáng chế

Độ tin cậy liên kết bi và khả năng liên kết nôm

Sau khi tiến hành các nghiên cứu chuyên sâu, các tác giả sáng chế đã phát hiện ra rằng, để thỏa mãn đồng thời độ tin cậy liên kết bi và khả năng liên kết nôm, thì cần phải kiểm soát một cách thích hợp nguyên tố được bổ sung vào vật liệu lõi và hàm lượng của nó cũng như nguyên tố được sử dụng cho lớp phủ và độ dày màng của lớp phủ.

Hiệu quả của dây liên kết theo phương án này đối với độ tin cậy liên kết bi sẽ được mô tả. Nguyên tố hữu hiệu được bổ sung cho vật liệu lõi được làm từ Ag là Ga, In, hoặc Sn và hàm lượng hữu hiệu của nguyên tố là lớn hơn hoặc bằng 0,1% nguyên tử. Nguyên tố hữu hiệu được sử dụng cho lớp phủ là Pd hoặc Pt và độ dày hữu hiệu của lớp phủ là lớn hơn hoặc bằng 0,005 μm . Nghĩa là, khi dây liên kết theo phương án này được sử dụng, không xảy ra sự tách trong liên kết bi giữa dây liên kết và điện cực Al thậm chí sau 120 giờ thực hiện HAST. Sự nối điện cũng không bị mất. Ga, In, hoặc Sn được chứa trong vật liệu lõi của dây liên kết theo phương án này và Pd hoặc Pt được chứa trong lớp phủ có thể ngăn ngừa sự phát triển của hợp chất liên kim loại của Ag và Al trong liên kết bi trong quá trình thử nghiệm độ ẩm cao ở nhiệt độ cao. Người ta tin rằng, điều này là do lớp hợp chất chủ yếu được làm từ nguyên tố được chứa trong vật liệu lõi và nguyên tố được chứa trong lớp phủ được tạo ra trong bề mặt trung gian liên kết của liên kết bi, ngăn ngừa hữu hiệu sự khuếch tán của Ag và Al. Do đó, rõ ràng là, dây liên kết theo phương án này thỏa mãn các tiêu chuẩn về độ tin cậy liên kết bi theo yêu cầu của các dây liên kết dùng cho các bộ nhớ.

Tiếp theo, hiệu quả của dây liên kết theo phương án này đối với khả năng liên kết nôm sẽ được mô tả. Nguyên tố hữu hiệu được chứa trong vật liệu lõi là

Ga, In, hoặc Sn và hàm lượng hữu hiệu nằm trong khoảng từ 0,05% đến 3,0% nguyên tử (bao gồm cả hai giá trị này) xét về tổng lượng của một hoặc nhiều nguyên tố trong số Ga, In, và Sn. Nguyên tố hữu hiệu được sử dụng cho lớp phủ là Pd hoặc Pt và độ dày hữu hiệu của lớp phủ nằm trong khoảng từ 0,003 μm đến 0,070 μm (bao gồm cả hai giá trị này). Nghĩa là, khi dây liên kết theo phương án này được sử dụng, không có lỗi liên kết ngay cả khi việc liên kết nê được thực hiện ở nhiệt độ 175°C ở điều kiện năng lượng thấp. Các lý do đạt được khả năng liên kết nê tốt sẽ được mô tả dưới đây. Lý do thứ nhất là độ mềm có thể được duy trì bằng cách điều chỉnh một cách thích hợp tổng lượng của một hoặc nhiều nguyên tố trong số Ga, In, và Sn được chứa trong vật liệu lõi. Lý do thứ hai là sự hấp thụ lưu huỳnh có thể được ngăn ngừa bằng cách bố trí lớp phủ quanh vật liệu lõi, lớp phủ chứa một hoặc nhiều nguyên tố trong số Pd và Pt, hoặc Ag và một hoặc nhiều nguyên tố trong số Pd và Pt, với phần còn lại được tạo ra từ các tạp chất ngẫu nhiên. Lý do thứ ba là việc tách lớp phủ trong quá trình liên kết nê có thể được ngăn ngừa bằng cách điều chỉnh một cách thích hợp nguyên tố được bổ sung cho vật liệu lõi, nguyên tố được sử dụng cho lớp phủ, và độ dày của lớp phủ và nhờ đó làm tăng sự bám dính giữa vật liệu lõi và lớp phủ. Do đó, rõ ràng là, dây liên kết theo phương án này thỏa mãn các tiêu chuẩn về khả năng liên kết nê theo yêu cầu của các dây liên kết dùng cho các bộ nhớ.

Để thỏa mãn đồng thời các tiêu chuẩn đối với độ tin cậy liên kết bi và khả năng liên kết nê theo yêu cầu của các dây liên kết dùng cho các bộ nhớ, dây liên kết hữu hiệu bao gồm: vật liệu lõi chứa một hoặc nhiều nguyên tố trong số Ga, In, và Sn với tổng lượng nằm trong khoảng từ 0,1 đến 3,0% nguyên tử với phần còn lại được tạo ra từ Ag và tạp chất ngẫu nhiên; và lớp phủ được tạo ra bên trên bề mặt của vật liệu lõi, chứa một hoặc nhiều nguyên tố trong số Pd và Pt, hoặc Ag và một hoặc nhiều nguyên tố trong số Pd và Pt, với phần còn lại được tạo ra từ các tạp chất ngẫu nhiên, trong đó lớp phủ có độ dày nằm trong khoảng từ 0,005 đến 0,070 μm . Đã được thể hiện rằng, dây liên kết theo phương án này có thể có giá thành thấp hơn so với dây liên kết Au trong khi thỏa mãn

các yêu cầu về đặc tính của các dây liên kết dùng cho các bộ nhớ, và do đó có thể được thay thế cho dây liên kết Au.

Ở đây, khi chứa một hoặc nhiều nguyên tố trong số Ga, In, và Sn với tổng lượng ít hơn 0,1% nguyên tử, thì sự phát triển của hợp chất liên kim loại của Ag và Al mà có thể gây ăn mòn trong thử nghiệm độ ẩm cao ở nhiệt độ cao đã được ngăn chặn không đủ và không thể đạt được độ tin cậy liên kết bị được yêu cầu trong việc sử dụng bộ nhớ. Dây liên kết chứa một hoặc nhiều nguyên tố trong số Ga, In, và Sn với tổng lượng lớn hơn 3,0% nguyên tử là không phù hợp trong sự sử dụng thực tế do độ bền dây liên kết tăng và khả năng liên kết nôm giảm. Tổng lượng từ 0,2 đến 1,5% nguyên tử tạo ra độ mềm mại và tính dẻo dai cao và tạo ra khả năng liên kết nôm tốt, và do đó được ưu tiên sử dụng. Hơn nữa, nếu tổng lượng nằm trong khoảng từ 0,3 đến 1,0% nguyên tử, dây liên kết tạo ra khả năng liên kết nôm tốt hơn, và do đó được ưu tiên sử dụng hơn.

Trong số các nguyên tố được chứa trong vật liệu lõi, tốt hơn là một hoặc nhiều nguyên tố trong số In và Sn được chứa nằm trong khoảng từ 0,1 đến 3,0% nguyên tử do hiệu quả cải thiện về độ tin cậy liên kết bị tốt hơn. Điều này là do In hoặc Sn được chứa trong vật liệu lõi có hiệu quả ngăn ngừa sự phát triển đặc biệt tốt đối với hợp chất liên kim loại của Ag và Al trong bề mặt liên kết.

Hàm lượng của Ga, In, và Sn được chứa trong vật liệu lõi của dây liên kết theo phương án này có thể được đo trong phần vật liệu lõi bằng cách sử dụng phổ kế tia X phân tán năng lượng (EDX - energy dispersive X-ray spectrometer) hoặc thiết bị tương tự được tạo ra trên kính quang phổ điện tử Auger (AES - Auger electron spectroscopy), kính hiển vi điện tử quét (SEM - scanning electron microscope), hoặc kính hiển vi điện tử truyền qua (TEM - transmission electron microscope). Các phương pháp sẵn có để làm lộ vật liệu lõi bao gồm phương pháp bao gồm bước bóc dây liên kết bằng nhựa và làm lộ một phần bằng cách đánh bóng cơ học và phương pháp bao gồm bước cạo bề mặt của dây liên kết bởi chùm ion Ar.

Lớp phủ của dây liên kết theo phương án này được xác định là vùng mà trong đó tổng nồng độ của Pd, Pt, và Au là lớn hơn hoặc bằng 50% nguyên tử

ngoài vùng được đánh dấu bằng cách nối bề mặt và phần tâm của dây liên kết bằng đường thẳng. Độ dày và thành phần của lớp phủ của dây liên kết có thể được đo bằng cách sử dụng kính quang phổ điện tử Auger. Phương pháp cụ thể bao gồm bước đo nồng độ bằng cách cạo bề mặt của dây liên kết bằng cách phun hoặc cách tương tự và thu được các biên dạng nồng độ theo chiều sâu. Các nguyên tố mà nồng độ của chúng thu được là Ag, Ga, In, Sn, Pd, và Pt. Tiếp theo, tổng lượng của Pd và Pt được tính toán dựa vào các biên dạng nồng độ thu được. Độ dày của lớp phủ có thể được đo ở một vị trí, nhưng tốt hơn là các trị số trung bình được đo ở hai hoặc nhiều vị trí được sử dụng.

Khả năng tạo bi

Tiếp theo, hiệu quả của dây liên kết theo phương án này để cải thiện khả năng tạo bi sẽ được mô tả. Dây liên kết theo phương án này có lớp hợp kim giữa vật liệu lõi và lớp phủ, lớp hợp kim chứa một hoặc nhiều nguyên tố trong số Ga, In, và Sn, một hoặc nhiều nguyên tố trong số Pd và Pt, và Ag, với phần còn lại được tạo ra từ các tạp chất ngẫu nhiên, sau đó có thể ngăn ngừa sự tạo bi với tính cầu thấp (dưới đây được gọi là bi bị biến dạng) trong trường hợp các bi có đường kính nhỏ (dưới đây được gọi là các bi đường kính nhỏ). Bi đường kính nhỏ được xác định là bi mà đường kính của nó lớn gấp từ 1,5 đến 1,7 lần đường kính của dây liên kết. Thông thường, đường kính bi nằm trong khoảng từ 1,7 đến 2,5 lần đường kính của dây liên kết.

Khi tạo các bi của dây liên kết bằng Ag, để làm ổn định các sự phóng điện hồ quang, nitơ hoặc khí hỗn hợp của nitơ và hydro chiếm 3 đến 5% thể tích được thổi. Các hình dạng bi biến dạng gây ra bởi sự sai lệch ở thời điểm làm nóng chảy giữa bề mặt và phần bên trong khi bề mặt của dây liên kết bị làm nóng chảy bởi các sự phóng điện hồ quang. Về vấn đề này, việc tạo ra các bi bị biến dạng có thể được ngăn ngừa bằng cách bố trí lớp hợp kim giữa vật liệu lõi và lớp phủ, lớp hợp kim chứa một hoặc nhiều nguyên tố trong số Ga, In, và Sn, một hoặc nhiều nguyên tố trong số Pd và Pt, và Ag, với phần còn lại được tạo ra từ các tạp chất ngẫu nhiên. Điều này là do khi lớp hợp kim được tạo ra, gradien điểm nóng chảy thay đổi liên tục từ bề mặt tới phần bên trong của dây liên kết,

cho phép dây dẫn nóng chảy liên tục từ bề mặt đến phần bên trong. Khi khí nito được thổi, việc tạo ra các bi bị biến dạng có thể được ngăn ngừa ngay cả khi không có khí nào được sử dụng.

Lớp hợp kim được xác định là vùng mà trong đó tổng lượng của Pd và Pt nằm trong khoảng từ 5 đến 50% nguyên tử và hàm lượng của Ga, In, và Sn là cao hơn ở phần tâm của dây liên kết, ngoài vùng được đánh dấu bằng cách nối bề mặt và phần tâm của dây liên kết bằng đường thẳng. Tốt hơn là, độ dày của lớp hợp kim nằm trong khoảng từ 10 đến 60% độ dày của lớp phủ, do các sự phóng điện hồ quang được làm ổn định đối với các bi có đường kính nhỏ, làm cho nó có thể ngăn ngừa sự thay đổi về đường kính bi. Hợp phần của lớp hợp kim có thể được đo bằng phương pháp tương tự với phương pháp được sử dụng để đo hợp phần của lớp phủ. Phương pháp cụ thể bao gồm bước đo nồng độ bằng cách cạo bề mặt của dây liên kết bằng cách phun hoặc cách tương tự và thu được các biên dạng nồng độ theo chiều sâu. Các nguyên tố mà biên dạng nồng độ của chúng thu được là Ag, Ga, In, Sn, Pd, và Pt. Tiếp theo, tổng lượng của Pd và Pt được tính toán dựa vào các biên dạng nồng độ thu được. Độ dày và thành phần của lớp hợp kim có thể được đo ở một vị trí, nhưng tốt hơn là các trị số trung bình được đo ở hai hoặc nhiều vị trí được sử dụng.

Độ bền mao dẫn

Tiếp theo, hiệu quả của dây liên kết theo phương án này đối với độ bền mao dẫn sẽ được mô tả. Dây liên kết theo phương án này có vùng chứa Au chứa từ 15 đến 50% nguyên tử Au trên bề mặt ngoài cùng của lớp phủ, nhờ đó làm giảm ma sát giữa bề mặt dây liên kết và mao dẫn và nhờ đó nâng cao tuổi thọ của mao dẫn. Điều này là do Au mềm hơn Pd và Pt của lớp phủ và tính mềm dẻo tốt. Độ dày hữu hiệu của vùng chứa Au nằm trong khoảng từ 0,001 đến 0,050 μm do điều này sẽ tạo ra hiệu quả cải thiện tốt. Khi hàm lượng Au mà nhỏ hơn 15% nguyên tử hoặc độ dày của vùng chứa Au mà nhỏ hơn 0,001 μm , thì hiệu quả cải thiện là không đủ. Khi hàm lượng của Au mà lớn hơn 50% nguyên tử hoặc độ dày của vùng chứa Au mà lớn hơn 0,050 μm , thì không thể đạt được hiệu quả cải thiện độ bền mao dẫn do Au có thể bị nghẽn trong mao dẫn. Độ dày

và thành phần của vùng chứa Au có thể được đo bằng cách sử dụng kính quang phổ điện tử Auger. Về phương pháp cụ thể, vùng chứa Au có thể được đo bằng phương pháp tương tự với phương pháp được sử dụng để đo hợp phần của lớp phủ.

Hình dạng bi lượn sóng

Tiếp theo, hiệu quả của dây liên kết theo phương án này đối với hình dạng bi lượn sóng sẽ được mô tả. Cùng với việc giảm kích cỡ của các bao gói bộ nhớ, các khoảng cách giữa các điện cực của các linh kiện bán dẫn đã trở nên ngắn hơn. Thông thường, trong quá trình liên kết bi của dây liên kết bằng Ag, các bi biến dạng tốt hơn là theo hướng ứng dụng của siêu thanh và có thể thỉnh thoảng tiếp xúc với điện cực liền kề, gây ra mạch ngắn. Do đó, cần phải làm giảm tính dị hướng của sự biến dạng bi trong quá trình liên kết bi và duy trì hình dạng sát với hình tròn hoàn hảo. Tính dị hướng của sự biến dạng bi sẽ tăng với sự gia tăng cỡ hạt, và do đó kỹ thuật làm mịn các hạt tinh thể của các phần bi là hữu ích. Bằng cách chứa thêm một hoặc nhiều nguyên tố trong số Cu, Pd, Pt, và Au với tổng lượng nằm trong khoảng từ 0,1 đến 0,7% nguyên tử trong vật liệu lõi, dây liên kết theo phương án này có thể làm mịn các hạt tinh thể của các bi và đạt được hình dạng bi gần hơn với hình tròn. Nếu hàm lượng mà nhỏ hơn 0,1%, không thể đạt được hiệu quả cải thiện hình dạng bi. Ngoài ra, hàm lượng lớn hơn 0,7% là không phù hợp khi sử dụng thực tế do các bi trở nên cứng hơn và chip hỏng trong quá trình liên kết làm nảy sinh vấn đề. Hàm lượng của Pd, Pt, và Au được chứa trong vật liệu lõi của dây liên kết có thể được đo trong phần vật liệu lõi bằng cách sử dụng EDX được tạo ra trên AES, SEM, hoặc TEM. Các phương pháp sẵn có để làm lộ vật liệu lõi bao gồm phương pháp bao gồm bước bóc dây liên kết bằng nhựa và làm lộ một phần bằng cách đánh bóng cơ học và phương pháp bao gồm bước cạo bề mặt của dây liên kết bởi chùm ion Ar.

Khả năng tạo vòng

Tiếp theo, hiệu quả của dây liên kết theo phương án này đối với khả năng tạo vòng sẽ được mô tả. Nhờ chứa một hoặc nhiều nguyên tố trong số B, P, Ca, La, và Se với tổng lượng nằm trong khoảng từ 80 đến 500 ppm nguyên tử trong

dây liên kết, dây liên kết theo phương án này bao gồm vật liệu lõi, lớp phủ, và lớp kim loại có thể cải thiện độ thẳng của vòng. Cùng với việc làm giảm kích cỡ gân dây của các gói bộ nhớ, điện cực ăn khớp ở phía chân cắm cũng như các khoảng cách liên kết giữa các dây liên kết được giảm. Để ngăn chặn các mạch ngắn gây ra bởi sự tiếp xúc giữa các dây dẫn, độ thẳng cao được yêu cầu đối với các dây liên kết. Bằng cách chứa một hoặc nhiều nguyên tố trong số B, P, Ca, La, và Se với tổng lượng nằm trong khoảng từ 80 đến 500 ppm nguyên tử, độ bền uốn cong có thể được nâng cao và do đó dây liên kết theo phương án này tạo ra độ thẳng vòng cao. Ở đây, nếu hàm lượng mà nhỏ hơn 80 ppm nguyên tử, thì không thể đạt được hiệu quả cải thiện độ thẳng vòng. Ngoài ra, hàm lượng lớn hơn 500 ppm nguyên tử là không phù hợp với sử dụng thực tế do các bi trở nên cứng hơn và chip hỏng trong quá trình liên kết gây ra vấn đề. Hàm lượng của B, P, Ca, La, và Se được chứa trong dây liên kết có thể được đo bằng cách sử dụng quang phổ kế phát xạ ICP (Inductively Coupled Plasma).

Phương pháp sản xuất

Tiếp theo, phương pháp sản xuất dây liên kết theo phương án này sẽ được mô tả.

Vật liệu lõi

Hợp kim Ag được sử dụng cho vật liệu lõi của dây liên kết có thể được sản xuất bằng cách hòa tan một cách đồng thời các nguyên liệu thô. Lò hồ quang, lò cao tần, lò nung bằng điện trở, hoặc lò tương tự có thể được sử dụng để hòa tan. Các quy trình bao gồm bước nạp các nguyên liệu thô vào trong nồi nung cacbon được gia công thành dạng hình trụ có đường kính từ 3 đến 6 mm, hòa tan các nguyên liệu thô bằng cách gia nhiệt tới nhiệt độ từ 1100 đến 1500°C ở chân không hoặc ở môi trường khí trơ của N₂, Ar, hoặc khí khác, và sau đó làm nguội lò hoặc làm mát bằng không khí các nguyên liệu để hoàn thành quy trình. Hợp kim Ag thu được được tạo đường kính dây cuối cùng bằng cách lặp lại quy trình kéo có sử dụng các khuôn đúc.

Lớp phủ

Các phương pháp sẵn có để tạo lớp phủ bao gồm kỹ thuật tạo màng để trở

thành lớp phủ trên dây dẫn hợp kim Ag có đường kính dây cuối cùng và kỹ thuật tạo màng trên dây dẫn hợp kim Ag dày có đường kính dây dẫn bán thành phẩm và sau đó kéo dây dẫn tới đường kính dây cuối cùng. Kỹ thuật tạo, mà tạo màng bằng cách sử dụng đường kính dây cuối cùng, giúp việc kiểm soát chất lượng được đơn giản và dễ dàng trong khi kỹ thuật sau, mà kéo dây dẫn sau khi tạo ra màng bằng cách sử dụng đường kính dây dẫn bán thành phẩm, có ưu điểm nâng cao độ bám dính vào vật liệu lõi. Mỗi phương pháp sản xuất sẽ được mô tả một cách cụ thể.

Đối với phương pháp tạo màng từ Pd và Pt trên bề mặt của hợp kim Ag, phương pháp mạ, phương pháp kết tủa hơi, phương pháp nóng chảy, hoặc phương pháp tương tự có thể được sử dụng. Đối với phương pháp mạ, hoặc quy trình mạ điện hoặc quy trình mạ không điện cực có thể được sử dụng để sản xuất. Các quy trình mạ điện được gọi là mạ lót và mạ nhanh có các tỷ lệ mạ cao và tạo ra sự bám dính tốt vào lớp lót. Các dung dịch được sử dụng để kết tủa không điện cực được phân loại thành loại thay thế và loại làm giảm. Lớp mạ thay thế riêng là đủ đối với độ dày màng nhỏ, nhưng khi tạo màng dày, rất hữu ích khi áp dụng mạ giảm ở các giai đoạn sau lớp mạ thay thế. Đối với phương pháp kết tủa hơi, sự hấp thụ vật lý như quy trình phun, quy trình mạ ion chẳng hạn, và sự kết tủa chân không cũng như sự hấp thụ hóa học như CVD plasma (Chemical Vapor Deposition – kết tủa hơi hóa học) là sẵn có để sử dụng. Quy trình bất kỳ là loại khô, mà không cần nhu cầu làm sạch sau khi tạo lớp phủ, và do đó không cần lo lắng về việc làm bẩn bề mặt trong quá trình làm sạch.

Kỹ thuật tạo màng trên dây dẫn hợp kim Ag có đường kính dây cuối cùng sẽ được mô tả. Hợp kim Ag hình trụ có đường kính từ 3 đến 6 mm thu được bằng cách hòa tan được tạo tới đường kính từ 0,9 đến 1,2 mm bằng quy trình kéo. Sau đó, quy trình kéo dây dẫn được sử dụng một cách liên tục bằng cách sử dụng các khuôn đúc để sản xuất dây dẫn có đường kính từ 300 đến 600 μm . Trong quá trình thực hiện như vậy, quy trình làm sạch bằng axit có sử dụng axit clohydric hoặc axit tương tự có hiệu quả nâng cao chất lượng bằng cách loại bỏ các oxit, các sunphua, và các chất tương tự khỏi bề mặt. Sau đó, dây dẫn được

tạo đường kính dây cuối cùng từ 15 đến 25 μm bằng cách lặp lại quy trình kéo dây dẫn. Chất bôi trơn có bán trên thị trường được sử dụng để kéo dây dẫn, và tốc độ cấp dây dẫn trong quá trình kéo dây dẫn nằm trong khoảng từ 300 đến 1000 m/phút.

Khi tạo màng trên dây dẫn hợp kim Ag có đường kính dây cuối cùng, một phương pháp hữu hiệu bao gồm bước tạo màng có độ dày nằm trong khoảng từ 0,010 đến 0,140 μm chứa một hoặc nhiều nguyên tố trong số Pd và Pt, hoặc Ag và một hoặc nhiều nguyên tố trong số Pd và Pt trên bề mặt của dây dẫn hợp kim Ag và sau đó thực hiện xử lý nhiệt cuối cùng. Việc xử lý nhiệt cuối cùng là hữu hiệu nếu được thực hiện bằng cách quét liên tục dây dẫn do điều này mang lại năng suất cao. Các điều kiện xử lý nhiệt cuối cùng cần được thiết lập sao cho độ dày của lớp phủ có thể được giữ trong phạm vi thích hợp. Đặc biệt, rất hữu ích để thiết lập nhiệt độ xử lý nhiệt cuối cùng từ 200 đến 600°C, và điều khiển thời gian xử lý nhiệt trong phạm vi từ 0,2 đến 1,0 giây. Kết quả của việc xử lý nhiệt cuối cùng, các nguyên tố trong dây dẫn hợp kim Ag và các nguyên tố trong màng được tạo ra trên bề mặt của dây dẫn hợp kim Ag khuếch tán lẫn nhau, cho phép độ dày của lớp phủ được kiểm soát trong phạm vi từ 0,005 đến 0,070 μm . Ngoài ra, việc sử dụng các điều kiện xử lý nhiệt cuối cùng làm cho nó có thể tái kết tinh hợp kim Ag được tôi, và nhờ đó đồng thời đạt được việc làm mềm được yêu cầu đối với các dây liên kết.

Tiếp theo, kỹ thuật tạo màng trên dây dẫn hợp kim Ag dày có đường kính dây dẫn bán thành phẩm và sau đó kéo dây dẫn tới đường kính dây cuối cùng sẽ được mô tả. Hợp kim Ag hình trụ có đường kính từ 3 đến 6 mm thu được bằng cách hòa tan được tạo ra tới đường kính từ 0,9 đến 1,2 mm bằng quy trình kéo. Sau đó, quy trình kéo dây dẫn được sử dụng một cách liên tục bằng cách sử dụng các khuôn đúc để sản xuất dây dẫn có đường kính từ 300 đến 600 μm . Màng chứa một hoặc nhiều nguyên tố trong số Pd và Pt, hoặc Ag và một hoặc nhiều nguyên tố trong số Pd và Pt được tạo ra trên dây dẫn hợp kim Ag có đường kính từ 300 đến 600 μm . Trong quá trình thực hiện như vậy, độ dày của màng cần được thay đổi theo đường kính của dây dẫn hợp kim Ag ở thời điểm

tạo màng và đường kính dây cuối cùng của dây liên kết. Đặc biệt, độ dày của màng có thể được điều chỉnh nằm trong khoảng từ 0,010 đến 0,140 μm khi đạt tới đường kính dây cuối cùng. Bây giờ, cho phép R_1 biểu thị đường kính của dây dẫn hợp kim Ag ở thời điểm tạo màng, cho phép r_1 biểu thị độ dày của màng, và cho phép R_2 biểu thị đường kính của dây dẫn hợp kim Ag khi đạt tới đường kính dây cuối cùng, sau đó độ dày màng r_2 trên đường kính dây cuối cùng được đưa ra bởi các biểu thức từ (1) đến (3) dưới đây. Đơn vị của tất cả các kích thước là μm .

$$r_2 = (R_2/R_1)r_1 \dots (1)$$

$$0,010 \leq r_2 < 0,140 \dots (2)$$

từ các biểu thức (1) và (2)

$$0,010 \leq (R_2/R_1)r_1 < 0,140 \dots (3)$$

Là đủ lớn so với độ dày của màng, đường kính của dây dẫn hợp kim Ag khi đạt tới đường kính dây cuối cùng có thể là xấp xỉ $R_2 \approx R$, trong đó R biểu thị đường kính dây cuối cùng của dây liên kết. Do đó, biểu thức (3) có thể được đưa ra như biểu thức (4) dưới đây.

$$0,010 \leq (R/R_1)r_1 < 0,140 \dots (4)$$

Từ biểu thức (4), có thể nói rằng, khi đường kính dây dẫn mà màng được tạo ra trên đó và đường kính dây cuối cùng được xác định, độ dày của màng được tạo ra trên dây với đường kính dây nằm trong khoảng từ 300 đến 600 μm có thể được xác định. Sau đó, dây dẫn được tạo đường kính dây cuối cùng nằm trong khoảng từ 15 đến 25 μm bằng cách lặp lại quy trình kéo dây dẫn và sau đó được xử lý nhiệt cuối cùng. Việc xử lý nhiệt cuối cùng là hữu hiệu nếu được thực hiện bằng cách quét liên tục dây dẫn do điều này mang lại năng suất cao. Các điều kiện xử lý nhiệt cuối cùng cần được thiết lập sao cho độ dày của lớp phủ có thể được kiểm soát trong phạm vi thích hợp. Đặc biệt, rất hữu ích để thiết lập nhiệt độ xử lý nhiệt cuối cùng từ 200 đến 600°C, và điều chỉnh thời gian xử lý nhiệt trong phạm vi từ 0,2 đến 1,0 giây. Các nguyên tố trong dây dẫn hợp kim Ag và các nguyên tố trong màng được tạo ra trên bề mặt của dây dẫn hợp kim Ag khuếch tán lẫn nhau, cho phép độ dày của lớp phủ được kiểm soát trong

phạm vi từ 0,005 đến 0,070 μm .

Lớp hợp kim

Để tạo lớp hợp kim giữa vật liệu lõi và lớp phủ, rất hữu ích để thực hiện xử lý nhiệt bổ sung sau khi xử lý nhiệt cuối cùng. Điều này làm cho dễ dàng khuếch tán Ga, In, và Sn được chứa trong hợp kim Ag về phía lớp phủ. Các điều kiện xử lý nhiệt bổ sung được thiết lập từ 600 đến 700°C, và khi độ dày của lớp hợp kim được kiểm soát, thì rất hữu ích để thay đổi thời gian xử lý nhiệt. Trong phạm vi nhiệt độ xử lý nhiệt, nếu thời gian xử lý nhiệt được thiết lập từ 0,2 đến 0,5 giây, thì độ dày của lớp hợp kim có thể được thiết lập nằm trong khoảng từ 10 đến 60% độ dày của lớp phủ. Đối với phương pháp xử lý nhiệt bổ sung, phương pháp tiến hành xử lý nhiệt bổ sung bằng cách quét liên tục dây dẫn là sẵn có để sử dụng.

Vùng chứa Au

Lớp chứa Au có thể được tạo ra trên mặt ngoài cùng của lớp phủ bằng cách sử dụng phương pháp tương tự phương pháp tạo lớp phủ. Ngoài ra, độ dày và thành phần của vùng chứa Au có thể được kiểm soát bằng cách sử dụng phương pháp tương tự phương pháp tạo lớp phủ. Nghĩa là, các phương pháp sẵn có bao gồm phương pháp tạo lớp phủ khi dây dẫn được xử lý tới đường kính dây dẫn bán thành phẩm và sau đó tạo màng Au và phương pháp tạo lớp phủ khi dây dẫn được xử lý tới đường kính dây cuối cùng và sau đó tạo màng Au. Ví dụ, để tạo màng Au, sau khi tạo lớp phủ trên dây dẫn hợp kim Ag có đường kính dây cuối cùng, các phương pháp hữu hiệu bao gồm phương pháp thực hiện xử lý nhiệt cuối cùng sau khi tạo ra màng Au có độ dày nằm trong khoảng từ 0,0008 đến 0,04 μm .

Ví dụ thực hiện sáng chế

Ví dụ 1

Các ví dụ sẽ được mô tả một cách chi tiết dưới đây. Dây liên kết được tạo ra bằng cách sử dụng phương pháp sản xuất nêu trên. Ag được sử dụng làm nguyên liệu thô có độ tinh khiết lớn hơn hoặc bằng 99,99% nguyên tử và phần còn lại được tạo ra từ các tạp chất ngẫu nhiên. Ga, In, Sn, Cu, Pd, Pt, Au, B, P,

Ca, La, và Se được sử dụng có độ tinh khiết lớn hơn hoặc bằng 99,9% nguyên tử với phần còn lại được tạo ra từ các tạp chất ngẫu nhiên. Các nguyên tố với hàm lượng thấp hơn hoặc bằng 10 ppm nguyên tử được xem là tạp chất ngẫu nhiên. Lớp phủ được tạo ra bằng cách sử dụng kỹ thuật tạo màng từ Pd và Pt trên dây dẫn hợp kim Ag dày có đường kính dây dẫn bán thành phẩm và sau đó kéo dây dẫn tới đường kính dây cuối cùng. Đối với phương pháp tạo màng từ Pd và Pt trên bề mặt của hợp kim Ag, quy trình mạ điện được sử dụng. Dây dẫn được ngâm trong dung dịch mạ trong khi được quét một cách liên tục. Đối với phương pháp tạo vùng chứa Au trên bề mặt ngoài cùng của lớp phủ, quy trình mạ điện cũng được sử dụng. Cũng trong trường hợp này, dây dẫn được ngâm trong dung dịch mạ trong khi được quét một cách liên tục.

Đánh giá độ tin cậy liên kết bi

Đối với độ tin cậy liên kết bi, sau khi thực hiện thử nghiệm độ ẩm cao ở nhiệt độ cao ở các điều kiện nhiệt độ 130°C, độ ẩm tương đối 85%, và điện áp lệch 3,6V, độ bền liên kết được đánh giá. Các ví dụ được tạo ra bằng cách liên kết dây liên kết với các linh kiện bán dẫn bằng cách sử dụng máy liên kết có bán trên thị trường và đúc các linh kiện bán dẫn được liên kết bằng nhựa bít kín epoxy. Các điện cực Al có độ dày 1 μm được sử dụng làm các điện cực của các linh kiện bán dẫn. Bằng cách thực hiện thử nghiệm cắt của các liên kết bi mỗi 24 giờ, độ bền liên kết của các liên kết bi được xác định là thời gian mà tại đó giá trị của độ bền cắt bằng 1/3 độ bền cắt đạt được ban đầu. Sau thử nghiệm độ ẩm cao ở nhiệt độ cao, các liên kết bi được lộ ra bằng cách loại bỏ nhựa nhờ xử lý axit trước khi tiến hành thử nghiệm cắt. Dụng cụ thử nghiệm độ bền có bán trên thị trường được sử dụng làm dụng cụ thử nghiệm cắt. Đối với trị số của độ bền cắt, trị số trung bình của các trị số được đo của các liên kết bi ở mười vị trí được chọn ngẫu nhiên được sử dụng. Trong đánh giá ở trên, khi độ bền liên kết mà ngắn hơn 120 giờ, thì dấu tam giác được đưa ra thể hiện đánh giá rằng, có vấn đề trong sử dụng thực tế; khi độ bền liên kết bằng hoặc lâu hơn 120 giờ và ngắn hơn 168 giờ, dấu tròn đơn được đưa ra thể hiện đánh giá rằng, không có vấn đề khi sử dụng thực tế; và khi độ bền liên kết bằng hoặc lâu hơn 168 giờ, dấu tròn

kép được đưa ra thể hiện đánh giá rằng, kết quả là tốt.

Đánh giá khả năng liên kết nôm

Việc liên kết nôm được tiến hành trên thiết bị có cấu trúc trong đó các linh kiện bán dẫn được xếp chồng, bằng cách sử dụng dây liên kết với đường kính dây từ 15 đến 20 μm . Các nhiệt độ được sử dụng trong quá trình liên kết là 175°C, 160°C, và 150°C và Ag được sử dụng làm nguyên liệu điện cực ở phía chân cắm. Điều kiện liên kết năng lượng thấp mà trong đó đầu ra siêu âm là thấp hơn ở điều kiện bình thường được sử dụng. Bằng cách quan sát 1000 liên kết nôm ở mỗi mẫu được tiến hành liên kết, việc đánh giá đạt/không đạt được thực hiện dựa vào việc liệu có lỗi hay không. Lỗi được xác định ở đây là điều kiện mà trong đó dây liên kết được tách khỏi điện cực. Trong liên kết nôm ở nhiệt độ 175°C, khi có lỗi, dấu tam giác được đưa ra thể hiện đánh giá rằng, có vấn đề trong sử dụng thực tế; và khi không có lỗi, dấu tròn đơn được đưa ra thể hiện đánh giá rằng, không có vấn đề khi sử dụng thực tế. Khi không có lỗi trong liên kết nôm ở nhiệt độ 160°C, dấu tròn kép được đưa ra thể hiện đánh giá rằng, kết quả là tuyệt vời; và khi không có lỗi trong liên kết nôm ở nhiệt độ 150°C, dấu dạng ngôi sao được đưa ra thể hiện đánh giá rằng, kết quả là đặc biệt tốt.

Đánh giá khả năng tạo bi

Khả năng tạo bi được đánh giá bằng cách tạo các bi bằng cách sử dụng các máy liên kết có bán trên thị trường và quan sát hình dạng bên ngoài của các bi. Đối với điều kiện tạo bi, $\text{N}_2 + 5\%$ khí H_2 được sử dụng. Đường kính của các bi là 1,5 lần đường kính dây. Kính hiển vi quang học được sử dụng để quan sát hình dạng bên ngoài của các bi. Bằng cách sử dụng phương pháp đánh giá nêu trên, khả năng tạo bi được đánh giá dựa vào số lượng các bi có độ tròn thấp trong số 200 bi được chọn một cách ngẫu nhiên. Khi số lượng các bi có độ tròn thấp là 3 hoặc 4, dấu tròn đơn được đưa ra thể hiện đánh giá rằng, không có vấn đề khi sử dụng thực tế; và khi số lượng các bi có độ tròn thấp ít hơn hoặc bằng 2, thì dấu tròn kép được đưa ra thể hiện đánh giá rằng, kết quả là tốt.

Đánh giá độ bền mao dẫn

Độ bền mao dẫn được đánh giá dựa vào sự có mặt hoặc vắng mặt của sự

hao mòn bằng cách quan sát mao dẫn sau khi liên kết dây liên kết bằng cách sử dụng các máy liên kết có bán trên thị trường. Đường kính của dây liên kết là 20 μm và số lần thử liên kết là 5000. Lỗ tại đầu của mao dẫn được quan sát dưới SEM, và khi mao dẫn hoạt động được mà không có vấn đề ngay cả khi lỗ không tròn do sự hao mòn, dấu tròn đơn được đưa ra thể hiện đánh giá rằng, không có vấn đề khi sử dụng thực tế; và khi đường tròn được duy trì, thì dấu tròn kép được đưa ra thể hiện đánh giá rằng, kết quả là tốt.

Đánh giá hình dạng bi lượn sóng

Hình dạng bi lượn sóng được đánh giá như sau: các điện cực được tạo ra bằng cách tạo màng Al có độ dày 1,0 μm trên nền Si và được liên kết bi bằng cách sử dụng chất liên kết dây có bán trên thị trường, và được quan sát một cách trực tiếp từ bên trên bằng cách sử dụng kính hiển vi quang học. Các hình dạng xếp của các bi được đánh giá như sau: hình dạng xếp gần với hình tròn được đánh giá là tốt và hình ôvan xếp hoặc hình giống cánh hoa được đánh giá là có lỗi. Một trăm liên kết bi được quan sát dưới kính hiển vi quang học, và khi có từ một đến bốn liên kết sai, thì dấu tròn đơn được đưa ra thể hiện đánh giá rằng, không có vấn đề khi sử dụng thực tế; và khi không có liên kết lỗi, thì dấu tròn kép được đưa ra thể hiện đánh giá rằng, kết quả là đặc biệt tốt.

Đánh giá khả năng tạo vòng

Khả năng tạo vòng được đánh giá như sau: việc liên kết được thực hiện bằng cách sử dụng chất liên kết dây có bán trên thị trường và được đánh giá, bằng cách quan sát các phần vòng, xem các vòng có tiếp xúc với nhau hay không. Chiều dài vòng là 2,5 mm và chiều cao vòng là 0,2 mm. Các phần vòng của 200 dây liên kết sau khi liên kết được quan sát dưới kính hiển vi quang học và điểm bất kỳ mà trong đó các dây liên kết liền kề tiếp xúc với nhau được đánh giá là có lỗi. Khi có từ một đến bốn lỗi, dấu tròn đơn được đưa ra thể hiện đánh giá rằng, không có vấn đề khi sử dụng thực tế, và khi không có lỗi, dấu tròn kép được đưa ra thể hiện đánh giá rằng, kết quả là đặc biệt tốt.

Các bảng từ 1-1 đến 1-3 thể hiện các ví dụ mô tả các dấu hiệu như các hợp phần của các dây liên kết theo sáng chế cũng như mô tả các kết quả đánh giá của các dây liên kết tương ứng. Bảng 2-1 và Bảng 2-2 thể hiện các ví dụ so sánh.

Bảng 1-1

STT	Lõi							Lớp phủ				Lớp hợp kim					Vùng chứa Au					Nguyên tố bổ sung				
	Nồng độ Ga (% nguyên tử)	Nồng độ In (% nguyên tử)	Nồng độ Sn (% nguyên tử)	Nồng độ Cu (% nguyên tử)	Nồng độ Pd (% nguyên tử)	Nồng độ Pt (% nguyên tử)	Nồng độ Au (% nguyên tử)	Pd	Pt	Độ dày lớp phủ (μm)	(Độ dày lớp hợp kim)/(Độ dày lớp phủ) x 100 (%)	Nồng độ Au (% nguyên tử)	Độ dày (μm)	Nồng độ B (ppm nguyên tử)	Nồng độ P (ppm nguyên tử)	Nồng độ Ca (ppm nguyên tử)	Nồng độ La (ppm nguyên tử)	Nồng độ Sc (ppm nguyên tử)								
1		0,10						O	0,005	0																
2		0,20						O	0,050	5																
3		0,30						O	0,045	40			83													
4		1,00						O	0,008	30				120												
5		1,50						O	0,030	25					19											
6		2,90						O	0,061	34						26										
7		0,10						O	0,055	0							41									
8		0,20						O	0,009	56			20													
9		0,30						O	0,015	70				480												
10		1,00						O	0,063	23					82											
11		1,50						O	0,068	30						86										
12		2,90						O	0,056	34																
13		0,10						O	0,039	14			40	50												
14		2,90						O	0,029	20			30													
15		0,10						O	0,028	60			150													
16		2,90						O	0,014	75				30					60							
17		0,10						O	0,050	35																
18		2,90						O	0,060	9																
19		0,10						O	0,049	24																
20		2,90						O	0,047	18																
21		0,06	0,05					O	0,060	4																
22		0,12	0,90					O	0,067	29																
23		0,17	0,15					O	0,054	34																
24		0,20	0,90					O	0,045	28																
25		0,30						O	0,046	40																
26		0,40						O	0,050	45																
27		0,30						O	0,060	45																
28		0,30						O	0,033	50																
29		0,30						O	0,034	40																
30		0,40						O	0,043	45																
31		0,30						O	0,038	45																

32		0,30							0	0	0,039	50	56	0,0600				
33		0,30		0,1					0	0	0,006	0						
34		0,30						0,2	0	0	0,055	0		420				
35		0,20		0,5					0	0	0,021	23				425		
36		0,60				0,6			0	0	0,010	24				418		
37		1,40						0,6	0	0	0,062	72					438	
38		1,60				0,1		0,1	0	0	0,068	36						486
39		1,20				0,1			0	0	0,012	24						
40		0,70				0,5		0,1	0	0	0,031	17						
41		0,90				0,5			0	0	0,046	34						
42		1,20		0,1		0,4		0,1	0	0	0,031	36						
43		1,50				0,4		0,1	0	0	0,032	32						
44		1,20		0,1		0,1		0,1	0	0	0,046	42						

Bảng 1-2

Số	Nồng độ Ga (% nguyên tử)	Nồng độ In (% nguyên tử)	Lõi				Lớp phủ			Lớp hợp kim (Độ dày lớp hợp kim)/(Độ dày lớp phủ) x 100 (%)	Vùng chứa Au		Nguyên tố bổ sung						
			Nồng độ Sn (% nguyên tử)	Nồng độ Cu (% nguyên tử)	Nồng độ Pd (% nguyên tử)	Nồng độ Pt (% nguyên tử)	Nồng độ Au (% nguyên tử)	Độ dày phủ (μm)	Pt		Pd	Nồng độ Au (% nguyên tử)	Độ dày (μm)	Nồng độ B (ppm nguyên tử)	Nồng độ P (ppm nguyên tử)	Nồng độ Ca (ppm nguyên tử)	Nồng độ La (ppm nguyên tử)	Nồng độ Se (ppm nguyên tử)	
45			0,10						0	0,042	50								
46			0,20		0,3				0	0,056	23								
47			0,30			0,3			0	0,059	24			34					
48			1,00					0,1	0	0,069	15			450					
49			1,50	0,1					0	0,032	24			90					
50			2,90			0,5			0	0,033	25								
51			0,10						0	0,011	33								
52			0,20						0	0,015	39								
53			0,30						0	0,019	40					55			
54			1,00						0	0,013	49					495			
55			1,50						0	0,024	35					98			
56			2,90						0	0,015	55								
57			0,10			0,2			0	0,045	25								
58			2,90				0,1		0	0,024	34								
59			0,10						0	0,032	25								
60			2,90	0,2					0	0,026	32								

Bảng 1-3

Vị dự	Vận hành và hiệu quả					
	Độ tin cậy liên kết (nhiệt độ: 130°C; độ ẩm tương đối: 85%)	Khả năng liên kết nệm	Hình dạng bi lượn sóng	Khả năng tạo bi	Độ bền mao dẫn	Khả năng tạo vòng
1	⊙	○	○	○	○	○
2	⊙	⊙	○	○	○	○
3	⊙	★	○	⊙	○	⊙
4	⊙	★	○	⊙	○	⊙
5	⊙	⊙	○	⊙	○	○
6	⊙	○	○	⊙	○	○
7	⊙	○	○	○	○	○
8	⊙	⊙	○	⊙	○	○
9	⊙	★	○	○	○	⊙
10	⊙	★	○	⊙	○	⊙
11	⊙	⊙	○	⊙	○	⊙
12	⊙	○	○	⊙	○	⊙
13	⊙	○	○	⊙	○	⊙
14	⊙	○	○	⊙	○	⊙
15	⊙	○	○	⊙	○	⊙
16	⊙	○	○	○	○	⊙
17	⊙	○	○	○	○	○
18	⊙	○	○	○	○	○
19	⊙	○	○	⊙	○	○
20	⊙	○	○	⊙	○	○
21	⊙	○	○	○	○	○
22	⊙	⊙	○	⊙	○	○
23	⊙	★	○	⊙	○	○
24	⊙	★	○	⊙	○	○
25	⊙	★	○	⊙	○	○
26	⊙	★	○	⊙	○	○
27	⊙	★	○	⊙	○	○
28	⊙	★	○	⊙	○	○
29	⊙	★	○	⊙	○	○
30	⊙	★	○	⊙	○	○
31	⊙	★	○	⊙	○	○
32	⊙	★	○	⊙	○	○
33	⊙	★	⊙	○	○	○
34	⊙	★	⊙	○	○	⊙
35	⊙	★	⊙	○	○	⊙
36	⊙	★	⊙	○	○	⊙
37	⊙	⊙	⊙	○	○	⊙
38	⊙	○	⊙	⊙	○	⊙
39	⊙	⊙	⊙	⊙	○	○
40	⊙	★	⊙	⊙	○	○
41	⊙	★	⊙	⊙	○	○
42	⊙	⊙	⊙	⊙	○	○
43	⊙	⊙	⊙	⊙	○	○
44	⊙	⊙	⊙	⊙	○	○
45	⊙	○	○	⊙	○	○
46	⊙	⊙	⊙	⊙	○	○
47	⊙	★	⊙	⊙	○	○
48	⊙	★	⊙	⊙	○	⊙
49	⊙	⊙	⊙	⊙	○	⊙
50	⊙	○	⊙	⊙	○	○
51	⊙	○	○	⊙	○	○
52	⊙	⊙	○	⊙	○	○
53	⊙	★	○	⊙	○	○
54	⊙	★	○	⊙	○	⊙
55	⊙	⊙	○	⊙	○	⊙
56	⊙	○	○	⊙	○	○
57	⊙	○	⊙	⊙	○	○
58	⊙	○	⊙	⊙	○	○
59	⊙	○	⊙	⊙	○	○
60	⊙	○	⊙	⊙	○	○
61	⊙	○	○	⊙	○	○
62	⊙	○	○	⊙	○	○
63	⊙	○	○	⊙	○	○
64	⊙	○	○	⊙	○	○
65	○	○	○	⊙	○	○
66	○	⊙	○	○	○	○
67	○	★	○	⊙	○	○
68	○	★	○	⊙	○	⊙
69	○	⊙	○	⊙	○	⊙
70	○	○	○	⊙	○	○
71	○	○	○	⊙	○	○
72	○	⊙	○	⊙	○	○
73	○	★	○	⊙	○	○
74	○	★	○	⊙	○	⊙
75	○	⊙	○	⊙	○	⊙
76	○	○	○	⊙	○	○
77	○	○	○	⊙	○	○
78	○	○	○	⊙	○	○
79	○	○	○	⊙	○	○
80	○	○	○	⊙	○	○
81	○	○	○	○	○	○
82	○	○	○	⊙	○	○
83	○	○	○	⊙	○	○
84	○	○	○	⊙	○	○

Bảng 2-1

Vị trí	Lõi						Lớp phủ			Lớp hợp kim (Độ dày lớp hợp kim)/(Độ dày lớp phủ) x 100 (%)	Vùng chứa Au	Nguyên tố bổ sung					
	Nồng độ Ga (% nguyên tử)	Nồng độ In (% nguyên tử)	Nồng độ Sn (% nguyên tử)/nguyên tử	Nồng độ Cu (% nguyên tử)/nguyên tử	Nồng độ Pd (% nguyên tử)/nguyên tử	Nồng độ Pt (% nguyên tử)/nguyên tử	Nồng độ Au (% nguyên tử)	Pd	Pt			Độ dày lớp phủ (μm)	Độ dày (μm)	Nồng độ B (ppm nguyên tử)	Nồng độ P (ppm nguyên tử)	Nồng độ Ca (ppm nguyên tử)	Nồng độ La (ppm nguyên tử)
1		0,08								0							
2				0,07						0							
3	0,07									0							
4	0,02	0,03								0							
5	0,01	0,01	0,02							0							
6		2,30								0							
7			2,50							0							
8	2,30									0							
9		2,30															
10			2,50														
11	2,30																
12	3,10																
13		3,10								0							
14			3,10							0							

Bảng 2-2

		Vận hành và hiệu quả							
Vi dụ số sánh	Độ tin cậy liên kết (nhiệt độ: 130 độ C; độ ẩm tương đối: 85%)	Khả năng liên kết ném	Hình dạng bi lượn sóng	Khả năng tạo bi	Độ bền mao dẫn	Khả năng tạo vòng			
1	△	○	○	◎					○
2	△	○	○	◎	○				○
3	△	○	○	◎	○				○
4	△	○	○	◎	○				○
5	△	△	○	◎	○				○
6	△	○	○	◎	○				○
7	△	○	○	◎	○				○
8	△	△	○	◎	○				○
9	△	○	○	◎	○				○
10	△	○	○	◎	○				○
11	△	○	○	◎	○				○
12	◎	△	○	◎	○				○
13	◎	△	○	◎	○				○
14	◎	△	○	◎	○				○

Dây liên kết theo điểm 1 tương ứng với các số 1, 2, từ 17 đến 24, 45, từ 50 đến 52, 56, từ 62 đến 66, từ 70 đến 72, và từ 76 đến 84. Đã được xác nhận rằng, độ tin cậy liên kết bi và khả năng liên kết nêi theo yêu cầu của các dây liên kết dùng cho các bộ nhớ được thỏa mãn.

Do các dây liên kết của các ví dụ từ 1 đến 84 có trong vật liệu lõi chứa một hoặc nhiều nguyên tố trong số Ga, In, và Sn với tổng lượng nằm trong khoảng từ 0,1 đến 3,0% nguyên tử với phần còn lại được tạo ra từ Ag và tạp chất ngẫu nhiên; và lớp phủ được tạo ra bên trên bề mặt của vật liệu lõi, chứa một hoặc nhiều nguyên tố trong số Pd và Pt, hoặc Ag và một hoặc nhiều nguyên tố trong số Pd và Pt, với phần còn lại được tạo ra từ các tạp chất ngẫu nhiên, trong đó lớp phủ có độ dày nằm trong khoảng từ 0,005 đến 0,070 μm , đã được xác nhận rằng, độ tin cậy liên kết bi và khả năng liên kết nêi được thỏa mãn một cách đồng thời. Trái lại, như được thể hiện trong các ví dụ so sánh từ 1 đến 14, đã được xác nhận rằng, khi hàm lượng của Ga, In, và Sn là nằm ngoài phạm vi nêu trên hoặc độ dày của lớp phủ là nằm ngoài phạm vi nêu trên, độ tin cậy liên kết bi và khả năng liên kết nêi không được thỏa mãn một cách đồng thời.

Trong các dây liên kết của các ví dụ từ 3 đến 6, 8, từ 10 đến 15, 17, 19, 20, từ 22 đến 32, 35, 36, từ 38 đến 65, từ 67 đến 80, và từ 82 đến 84, vì độ dày của lớp hợp kim là từ 10 đến 60% độ dày của lớp phủ, đã được xác nhận rằng, khả năng tạo bi là tốt.

Trong các dây liên kết của các ví dụ 26, 27, 30, và 31, vì độ dày của vùng chứa Au chứa từ 15 đến 50% nguyên tử Au là nằm trong khoảng từ 0,001 đến 0,050 μm , đã được xác nhận rằng, độ bền mao dẫn có thể được nâng cao.

Do mỗi dây liên kết của các ví dụ từ 33 đến 44, từ 46 đến 50, và từ 57 đến 60 có chứa một hoặc nhiều nguyên tố trong số Cu, Pd, Pt, và Au với tổng lượng nằm trong khoảng từ 0,1 đến 0,7% nguyên tử trong vật liệu lõi, nên đã được xác nhận rằng, đánh giá về hình dạng bi lượn sóng là đặc biệt tốt.

Do mỗi dây liên kết của các ví dụ 3, 4, từ 9 đến 16, từ 34 đến 38, 48, 49, 54, 55, 68, 69, 74, và 75 có chứa một hoặc nhiều nguyên tố trong số B, P, Ca, La, và Se với tổng lượng nằm trong khoảng từ 80 đến 500 ppm nguyên tử, nên đã được xác nhận rằng, đánh giá về khả năng tạo vòng là đặc biệt tốt.

YÊU CẦU BẢO HỘ

1. Dây liên kết dùng cho thiết bị bán dẫn bao gồm:

vật liệu lõi chứa một hoặc nhiều nguyên tố trong số Ga, In, và Sn với tổng lượng nằm trong khoảng từ 0,1 đến 3,0% nguyên tử, và phần còn lại được tạo ra từ Ag và tạp chất ngẫu nhiên; và

lớp phủ được tạo ra bên trên bề mặt của vật liệu lõi, chứa một hoặc nhiều nguyên tố trong số Pd và Pt, hoặc Ag và một hoặc nhiều nguyên tố trong số Pd và Pt, và phần còn lại được tạo ra từ các tạp chất ngẫu nhiên, trong đó:

lớp phủ có độ dày nằm trong khoảng từ 0,005 đến 0,070 μm .

2. Dây liên kết theo điểm 1, dây liên kết này còn bao gồm lớp hợp kim được bố trí giữa vật liệu lõi và lớp phủ, lớp hợp kim chứa một hoặc nhiều nguyên tố trong số Ga, In, và Sn, một hoặc nhiều nguyên tố trong số Pd và Pt, và Ag, và phần còn lại được tạo ra từ các tạp chất ngẫu nhiên.

3. Dây liên kết theo điểm 2, trong đó độ dày của lớp hợp kim nằm trong khoảng từ 10 đến 60% độ dày của lớp phủ.

4. Dây liên kết theo điểm 3, dây liên kết này còn bao gồm vùng chứa Au mà chứa từ 15 đến 50% nguyên tử Au và được tạo ra trên bề mặt ngoài cùng của lớp phủ, trong đó độ dày của vùng chứa Au nằm trong khoảng từ 0,001 đến 0,050 μm .

5. Dây liên kết theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 3, trong đó vật liệu lõi còn chứa một hoặc nhiều nguyên tố trong số Cu, Pd, Pt, và Au với tổng lượng nằm trong khoảng từ 0,1 đến 0,7% nguyên tử.

6. Dây liên kết theo điểm bất kỳ trong số các điểm từ 1 đến 3 và điểm 5, trong đó toàn bộ dây dẫn chứa một hoặc nhiều nguyên tố trong số B, P, Ca, La, và Se với tổng lượng nằm trong khoảng từ 80 đến 500 ppm nguyên tử.