

# ŁĄCZENIE TERMICZNE PŁYTEK KRZEMOWYCH

Piotr Zabierowski, Bronisław Piątkowski

Dokonano przeglądu technologii łączenia płytek krzemowych. Przedstawiono wyniki przeprowadzonych badań otrzymywania połączonych tą metodą płytek krzemowych.

## 1. WSTĘP

Ostatnio prowadzone na świecie badania pozwoliły na opracowanie metod otrzymywania płytek, składających się z warstw monokrystalicznego krzemu, osadzonego na różnego rodzaju podłożach, drogą łączenia termicznego dwóch płytek (thermal bonding, fusion bonding, direct bonding). Najczęstsze zastosowanie znajduje technologia uzyskiwania cienkich warstw krzemu, osadzanych na krzemie lub krzemie

Tabela 1. Parametry elektryczne CMOS dla różnych materiałów SOI [4].

Table 1. Electrical parameters of CMOS devices on various SOI materials [4].

	SIMOX	Th.bond.	ZMR	Krzem lity
<b>Ruchliwość w kanale</b>				
$\mu_n$ [ $\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ ]	400	450	420	468
$\mu_p$ [ $\text{cm}^2\text{V}^{-1}\text{s}^{-1}$ ]	130	140	140	150
<b>Prąd upływu</b> dla $V_R=5\text{V}$ [ $\text{A}/\text{cm}^2$ ]	$2 \cdot 10^{-8}$	$2 \cdot 10^{-9}$	$2 \cdot 10^{-7}$	$2 \cdot 10^{-9}$
<b>Ciągłość bramki*</b>	++	+++	+	+++
<b>Napięcie przebicia dren-źródło [V]</b>				
kanal n	10	14	8	14
kanal p	-11	-14	-14	-15
<b>Napięcie progowe [V]</b>				
kanal n	0.5	0.65	0.6	0.7
kanal p	-0.8	-0.75	-0.82	-0.75

\* Większa ilość „+” oznacza lepszy tlenek; (brak danych ilościowych).

Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych  
ul. Wólczyńska 133, 01-919 Warszawa

z naniesioną na powierzchni warstwą dwutlenku krzemu ( $\text{SiO}_2$ ). Szczególnie ten ostatni wariant łączenia monokrystalicznych płytek krzemu z pośrednią warstwą dwutlenku krzemu znajduje szerokie zastosowanie, gdyż wykorzystując płytki otrzymane tą metodą uzyskuje się materiał na SOI.

W Tabeli 1 porównano charakterystyczne parametry elektryczne układu CMOS o długości bramki  $2.5 \mu\text{m}$ , wykonanego z materiału SOI otrzymanego różnymi metodami: SIMOX (separation-by-implantation-of-oxygen), łączenia termicznego (thermal bonding) i ZMR (zone-melt recrystallisation) [4]. W zestawieniu jest widoczne, że materiał otrzymywany metodą łączenia termicznego posiada najlepsze parametry, zbliżone lub równe odpowiednim parametrom dla krzemu objętościowego.

W ITME podjęto prace nad technologią łączenia płytek krzemowych metodą *thermal bonding*; w artykule podano opis tej metody oraz wyniki przeprowadzonych prób.

## 2. PROCES ŁĄCZENIA TERMICZNEGO

Proces uzyskiwania wyrobu metodą łączenia termicznego przebiega w następujących etapach:

- przygotowywanie płytek do łączenia; w tym etapie otrzymuje się płytki o wystarczającej do połączenia geometrii i czystości powierzchni,
- utlenianie płytek (w przypadku uzyskiwania materiału na SOI),
- łączenie wstępne,
- wygrzewanie,
- pomiar jakości połączenia,
- pocienianie połączonych płytek.

### 2.1. OBRÓBKA MECHANICZNA I CHEMICZNA PŁYTEK KRZEMOWYCH PRZED PROCESEM ŁĄCZENIA TERMICZNEGO

Operacje obróbki mechanicznej i chemicznej płytek krzemowych o różnych średnicach (w ITME do  $150 \text{ mm}$ ) i różnych grubościach końcowych (w ITME do  $40 \mu\text{m}$ ) są znane od wielu lat, jednak proces łączenia stawia przed nimi specjalne wymagania. W procesie otrzymywania płytek krzem-krzem lub krzem- $\text{SiO}_2$ -krzem metodą łączenia termicznego decydujące jest stworzenie takich warunków, by jak największy procent powierzchni stykanych płytek miał ze sobą kontakt „atomowy”. Kontakt ten zapewnia realizację połączenia płytek. Im doskonalsze będą parametry geometryczne obu łączonych płytek (Warp, TTV i tolerancja grubości) oraz jakość powierzchni (mikrochropowatość, czystość) tym połączenie ich będzie lepsze. W [1, 2, 3] opisano zjawisko występowania miejscowych mikroodkształceń płytek wskutek niedopasowania geometrii dwóch łączonych powierzchni. Na ogół siły przyciągania dobrze przygotowanych powierzchni są wystarczające, by spowodować lokalne od-



kształcenia płytek, lecz gdy niedopasowanie geometrii płytek przekracza pewien próg, występujące naprężenia mogą doprowadzić do rozwarstwień.

## 2.2. MYCIE ŁĄCZONYCH POWIERZCHNI

Opisane w literaturze [1,2,3] mechanizmy powstawania połączeń płytek metodą termiczną wskazują na decydującą prawdopodobnie rolę zaadsorbowanych na powierzchni czystego, obrobionego mechanicznie lub chemicznie krzemu, cząstek związków organicznych (głównie węglowodorów), ale przede wszystkim wody. Mechanizm ten opisano w punktach 2.4 i 2.5. Równocześnie wiadomo, że istniejące na powierzchni płytek cząsteczki zanieczyszczeń mogą generować w procesie łączenia termicznego lokalne obszary rozwarstwione. Wielkość tych obszarów jest funkcją ilości i rodzaju zanieczyszczeń występujących na powierzchniach płytek. Obszary niepołączone z wielu względów eliminują płytki jako nieprzydatne do operacji pocieniania. Mogą one bowiem spowodować, podczas operacji polerowania, pęknięcia płytek w miejscach rozwarstwień. Takie zaburzenie procesu niszczy nie tylko płytkę wadliwą, ale i wszystkie pozostałe płytki, stanowiące wsad polerowania i drogą tkaninę polerską.

Opublikowane wyniki badań [4] wykazują, że zanieczyszczenia o średnicy około 1  $\mu\text{m}$  mogą powodować rozwarstwienia, których średnica może dochodzić nawet do kilkunastu milimetrów. Decydujący wpływ na wielkość obszarów niepołączonych ma rodzaj zanieczyszczeń zaadsorbowanych na powierzchni krzemu.

Opisane wyżej wady ujawniają się po operacji łączenia płytek w temperaturze pokojowej, można by je nazwać „zewnątrznymi”. Często istnieją jednak obszary złącza, które początkowo nie wykazują żadnych zaburzeń przy połączeniu, lecz w temperaturach powyżej około 200°C w obszarach tych pojawiają się rozwarstwienia. Wady te spowodowane są występowaniem w tych miejscach takich zanieczyszczeń, które w temperaturach wyższych odgazowują, powodując rozwarstwienie płytek. Zanieczyszczenia te, to przeważnie niektóre węglowodory i gazy, uwięzione prawdopodobnie między małymi cząstkami między powierzchniami płytek. Rozwarstwienia tego rodzaju znikają w trakcie wygrzewania w temperaturach 900÷1100°C [4]. Opisane tu wady mogą mieć jednak wpływ na złącze między płytkami nie utlenionymi.

Zadaniem operacji mycia jest usunięcie wszelkiego rodzaju zanieczyszczeń powodujących wyżej omówione wady.

Odrębnym zagadnieniem jest adsorbcja różnego rodzaju zanieczyszczeń w trakcie procesu łączenia wstępnego płytek, w temperaturze pokojowej. Zjawiska te będą opisane w punkcie 2.4.

## 2.3. UTLENIANIE POWIERZCHNI PŁYTEK KRZEMOWYCH

W przypadku produkcji materiału SOI płytki (lub jedna z pary płytek) są przed operacją łączenia wstępnego utleniane w celu otrzymania na ich powierzchni war-

stwy izolatora, którym jest dwutlenek krzemu ( $\text{SiO}_2$ ). Katalogi producentów (np. firmy ShinEtsu) oraz dane literaturowe wskazują, że stosowane są praktycznie grubości warstwy dwutlenku krzemu z zakresu od 0.5 do 2.0  $\mu\text{m}$ .

Wiadomo, że warstwy dwutlenku krzemu posiadają mniej doskonałą powierzchnię, niż lity krzem monokrystaliczny. Tłumaczy to więc — w świetle opisanych w punkcie 2.1 mechanizmów tworzenia się mikronaprężeń pochodzących od niedopasowania geometrii powierzchni łączonych płytek — występowanie stosunkowo dużych naprężeń mogących powodować odkształcenie sprężyste w przypadku płytek z pośrednią warstwą dwutlenku krzemu.

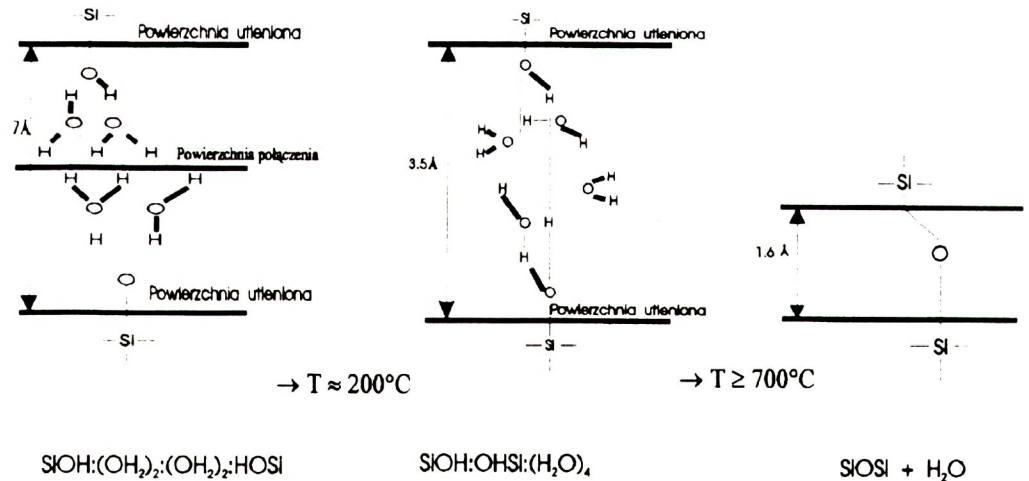
Grubość warstwy tlenku między powierzchniami płytek krzemowych może mieć znaczenie nie tylko ze względów aplikacyjnych, lecz także z powodu możliwego wpływu na wytrzymałość złącza (wpływ opisanych w punkcie 2.5 mechanizmów wygrzewania w najwyższym zakresie temperatur).

## 2.4. ŁĄCZENIE WSTĘPNE

Jak już stwierdzono wyżej, łączenie płytek w temperaturze pokojowej jest głównym etapem opisywanego procesu.

S. Bengtsson [1] opisuje w sposób następujący mechanizm powstawania połączenia metodą termiczną:

Powierzchnie krzemu lub dwutlenku krzemu, bezpośrednio po obróbce mechanicznej lub chemicznej, poddane działaniu powietrza atmosferycznego natychmiast



**Rys. 1.** Model mechanizmu łączenia termicznego utlenionych płytek krzemowych w różnych temperaturach. Rysunek przedstawia przejście połączenia słabego w mocniejsze Si–O–Si [1].

**Fig. 1.** A model for the silicon wafer bonding mechanism at different temperatures. The figure illustrates the transformation of the weak bonding into the much stronger Si–O–Si bonding [1].



adsorbują kilka monowarstw zanieczyszczeń organicznych (głównie węglowodorów) oraz wody. Oddziaływanie w temperaturze pokojowej dwóch powierzchni krzemowych jest podobne do sił adhezyjnych między cienkimi zaadsorbowanymi warstwami wody. Siły oddziaływania między takimi powierzchniami są spowodowane wiązaniami zaadsorbowanych atomów wodoru z grup hydroksylowych i cząsteczek wody (Rys. 1 — pierwszy człon). Alternatywnym wytłumaczeniem tego mechanizmu są siły Van der Waals'a między atomami i cząsteczkami zaadsorbowanymi w temperaturze pokojowej na perfekcyjnie wypolerowanych powierzchniach. W obu wypadkach siły posiadają naturę elektrostatyczną i są stosunkowo słabe.

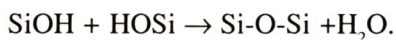
Decydujący wpływ na przebieg i efekt łączenia wstępnego wywierają parametry geometryczne łączonych powierzchni, ich chropowatość, czystość oraz rodzaj (utleniona lub bez warstwy tlenu).

Środowisko łączenia płytek — skład atmosfery (powietrze, gaz ochronny, próżnia, mieszanina gazów) oprócz wpływu na zanieczyszczenia, opisane w punkcie 2.2, może powodować zaadsorbowanie takich, charakterystycznych dla tego środowiska cząstek, które po wejściu do złącza w efekcie końcowym mogą mieć wpływ na elektryczne zachowanie się przyrządu. Pewne badania, opisane w literaturze [4] wskazują, że już krótkotrwała ekspozycja czynnej, obrobionej mechanicznie lub chemicznie powierzchni krzemu lub dwutlenku krzemu w powietrzu powoduje adsorpcję niebojętnych na parametry elektryczne przyrządu atomów węgla, boru i innych substancji. Znajomość opisanego wyżej zjawiska, a także zjawisk adsorpcji zanieczyszczeń w etapach przygotowawczych (punkt 2.2) rzutują na dobór parametrów technologicznych łączenia; sposób rozwiązania kompleksu problemów związanych z zanieczyszczeniami powierzchni łączonej jest najważniejszy w opanowaniu procesu łączenia metodą *thermal bonding*.

## 2.5. WYGRZEWANIE POŁĄCZONYCH WSTĘPNIE PŁYTEK

Jak stwierdzono uprzednio, w procesie łączenia wstępnego uzyskuje się połączenia słabe, o energii wiązania rzędu kilkudziesięciu  $\text{erg/cm}^2$ . Operacja wygrzewania powoduje zwiększenie energii łączenia powierzchni [3]. Mechanizm łączenia w wyższych temperaturach S.Bengtsson [1] opisuje następująco:

Gdy połączone w temperaturze pokojowej płytki wygrzewane są w temperaturach od 100 do 200°C, wzrost ruchliwości zaadsorbowanych cząsteczek powoduje wzrost liczby wiązań, które wypełniają odstęp między płytkami (Rys. 1 — człon środkowy). Odkształcenie sprężyste płytek może jeszcze powodować zwiększenie gęstości wiązań. Gdy temperatura nadal wzrasta w zakresie od 300 do 700°C początkowe wiązania zastępowane są przez wiązania Si-O-Si (ostatni człon rysunku 1) zgodnie z reakcją:



W ten sposób, słabe wiązania istniejące po operacji połączenia płytek w temperaturze pokojowej podczas obróbki zamieniają się w wiązania silniejsze.

W temperaturach powyżej 700°C, a szczególnie w temperaturach od 1000 do 1100°C, wiązanie jest dodatkowo wzmacniane przez plastyczne płynięcie warstwy dwutlenku krzemu.

Badania, opisane przez niektórych autorów [4] wskazują, że przebieg wygrzewania może mieć także wpływ na wymiary rozwarstwień opisanych powyżej. Wygrzewanie w wysokich temperaturach (~ 1150°C) może powodować zmniejszanie się rozwarstwień o niewielkich wymiarach (3 do 4 mm).

## 2.6. TESTOWANIE POŁĄCZEŃ

Sprawdzenie jakości połączeń w przypadku procesu otrzymywania płytki łączonej metodą termiczną jest nie tylko typową czynnością kontrolną, lecz decyduje czy płytka nadaje się do dalszego przerobu na struktury przez pocienienie. Kontrola jakości połączenia — jego wytrzymałości, a głównie sprawdzenia, czy na powierzchni nie występują rozwarstwienia — jest konieczna, gdyż jak wspomniano dopuszczenie płytek z wadami do polerowania może powodować duże straty.

Sprawdzanie jakości połączenia można przeprowadzać metodami nieniszczącymi i niszczącymi.

Do metod nieniszczących należy sprawdzanie płytek w:

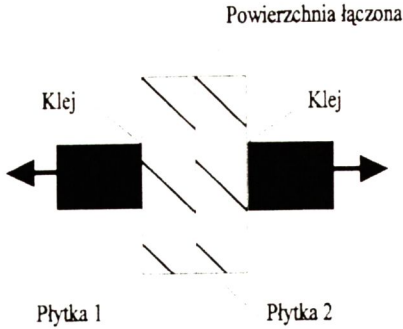
- podczerwieni,
- ultradźwiękach,
- promieniowaniu rentgenowskim.

Wszystkie te metody dają obraz jakościowy połączenia, można za ich pomocą sprawdzić, czy na powierzchni łączonej występują rozwarstwienia, jak również określić ich wielkość i kształt. Metody te nie pozwalają jednak na oszacowanie wytrzymałości połączenia (energii wiązania między połączonymi płaszczyznami). Dlatego stosuje się je tylko dla kontroli międzyoperacyjnej, natomiast dla określenia podstawowego parametru (wytrzymałości połączenia) stosuje się wrywkowo jedną z metod niszczących opisanych niżej.

### Metoda badania wytrzymałości na rozciąganie

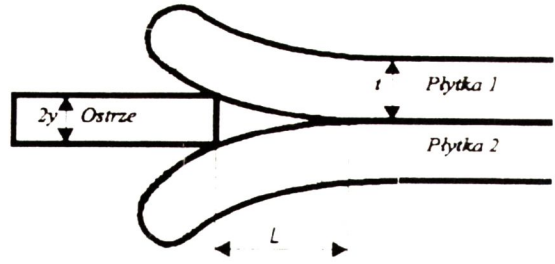
Ze zgrzanych płytek, których wytrzymałość jest badana, wycina się próbkę o znanej powierzchni, najlepiej jednostkowej [ $1 \text{ cm}^2$  — kwadrat  $1 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}$ ]. Płytkę taką przykleja się do prętów metalowych o wymiarach umożliwiających zamontowanie ich w maszynie do badania wytrzymałości na rozciąganie. Konieczne jest dobranie takiego kleju, by połączenie krzem (dwutlenek krzemu na krzemie)-klej-pręt metalowy posiadało większą wytrzymałość niż wytrzymałość badanego złącza Si-Si Si-SiO<sub>2</sub>-Si. Tak przygotowany zestaw poddaje się badaniu na rozciąganie przykładając siły wg schematu (Rys. 2) i określając siłę potrzebną do zerwania połączenia (MPa/cm<sup>2</sup>).





**Rys. 2.** Schemat badania złącza Si-O-Si (Si-Si) metodą określania wytrzymałości na rozciąganie [1].

**Fig. 2.** Schematic diagram for measurement of mechanical fracture strength of bonded interfaces Si-O-Si (Si-Si) [1].



**Rys. 3.** Schemat badania jakości połączenia metodą rozszczepiania [1,3].

**Fig. 3.** Schematic diagram of bond testing by separation method [1,3].

### Metoda rozszczepiania płytek (metoda Maszary)

Metoda ta, zaproponowana przez W.P.Maszarę i innych [3] opiera się na teorii pękania ciał stałych. Na Rys. 3 pokazano schematycznie tę metodę badania.

Cienkie ostrze metalowe jest wciskane w płaszczyznę połączenia między dwie płytki i następnie mierzone są rozmiary rozwarstwienia. Zależność między grubością ostrza ( $2y$ ), długością pęknięcia ( $L$ ) i energią wiązania ( $\gamma$ ) jest określana wzorem:

$$\gamma = \frac{3}{8} \frac{Et^3 y^2}{L^4} \quad (1)$$

gdzie:

$E$  -moduł Young'a dla krzemu (dla orientacji  $\langle 100 \rangle$   $E = 1,66 \cdot 10^{-7} \text{N/cm}^2$  [3], dla orientacji  $\langle 111 \rangle$   $E = 1,68 \cdot 10^{-7} \text{N/cm}^2$  [5])

$t$  -grubość płytek.

Długość pęknięcia  $L$  mierzy się za pomocą czułej kamery w podczerwieni, zaś energia wiązania (energia powierzchniowa) połączonych powierzchni, określana jest z równania (1).

## 2.7. POCIENIANIE PŁYTEK

Dla większości zastosowań płytek łączonych, wymagana jest operacja regulowanego pocieniania jednej z płytek w celu uzyskania bardzo cienkiej warstwy krzemu.

Metody obróbki są podobne jak dla płytek litych, po wyeliminowaniu płytek (z rozwarstwieniami), które stwarzają niebezpieczeństwo zniszczenia wsadu lub tkankiny polerskiej. Podstawową trudnością jest osiągnięcie możliwie dokładnie tolero-

wanej bardzo cienkiej warstwy płytki górnej. W celu ułatwienia pomiaru grubości i geometrii płytki górnej stosuje się nakładanie płytki górnej o nieco mniejszej średnicy niż płytka dolna.

### **3. OPIS PRZEPROWADZONYCH PRÓB**

Próby prowadzono głównie na płytkach o średnicy 2", utlenionych i nie utlenionych.

#### **3.1. METODYKA POMIAROWA**

W niniejszej pracy jakość otrzymywanych połączeń badano za pomocą obserwacji płytek w podczerwieni z zastosowaniem polaryzacji. Obserwacje te nie pozwalały na uzyskiwanie danych ilościowych (wartości wytrzymałości połączeń lub energii wiązań), jednak umożliwiały określanie przybliżonego procentowego stopnia połączeń płytek, gdyż ujawniano tu wszystkie istniejące rozwarstwienia.

Przeprowadzono także próby opracowania sposobu badania połączeń metodą rozciągania próbek (punkt 2.6). Pierwsze próby standardowego rozciągania elementów krzemowych z badanym złączem, przygotowanych wg schematu opisanego w punkcie 2.6. nie pozwoliły na ustalenie tą metodą wytrzymałości na rozciąganie, gdyż próbka krzemowa pękała na litym krzemie, nie zaś na powierzchni połączonej. Analiza przełomów kilku próbek pozwoliła ustalić przyczynę takiego przebiegu prób. Było nią występowanie składowych ścinających w układzie klej-krzem-(SiO<sub>2</sub>)-krzem-klej (w standardowej metodzie rozciągania układ próbka-uchwyt-maszyna jest sztywny; próbka metalowa po przekroczeniu granicy plastyczności odkształcając się „ustawia się” w osi sił rozciągania). Zaprojektowano specjalny uchwyt przegubowy, którego ideą było wyeliminowanie sztywności układu. Pierwsze próby z zastosowaniem nowego uchwytu pozwoliły ocenić wytrzymałość badanego złącza. Przełom nastąpił na litym krzemie przy naprężeniu 90 MPa, zatem wytrzymałość złącza była większa od tej wartości.

#### **3.2. WPŁYW GEOMETRII PŁYTEK I ICH CZYSTOŚCI NA JAKOŚĆ POŁĄCZENIA**

Płytki krzemowe o średnicy 2" polerowano standardowo do grubości końcowej 250 μm. Następnie wykonywano na nich dodatkowe operacje obróbki mechanicznej i chemicznej, uzyskując płytki o podwyższonym standardzie geometrii i jakości powierzchni (Tabela 2). W ten sposób przygotowano pięć grup płytek o różnych poziomach jakości. Próby mycia płytek zaplanowano uwzględniając możliwości aparaturowe i odczynnikowe ITME wg trzech sposobów:



**Tabela 2.** Wyniki przeprowadzonych prób.  
**Table 2.** Results of performed studies.

**1. Mycie standardowe**  
**1. Standard washing**

Warp [μm]	20	20	15	15	15
TTV [μm]	10	6	6	4	4
Tolerancja [μm]	±15	±15	±15	±15	±10
% dobrej powierzchni	5	15	15	25	35

**2. Mycie dodatkowe w 10% HF, izopropanolu i acetonie**  
**2. Additional washing in 10% HF, isopropanol and acetone**

Warp [μm]	20	20	15	15	15
TTV [μm]	10	6	6	4	4
Tolerancja [μm]	±15	±15	±15	±15	±10
% dobrej powierzchni	10	25	30	45	60

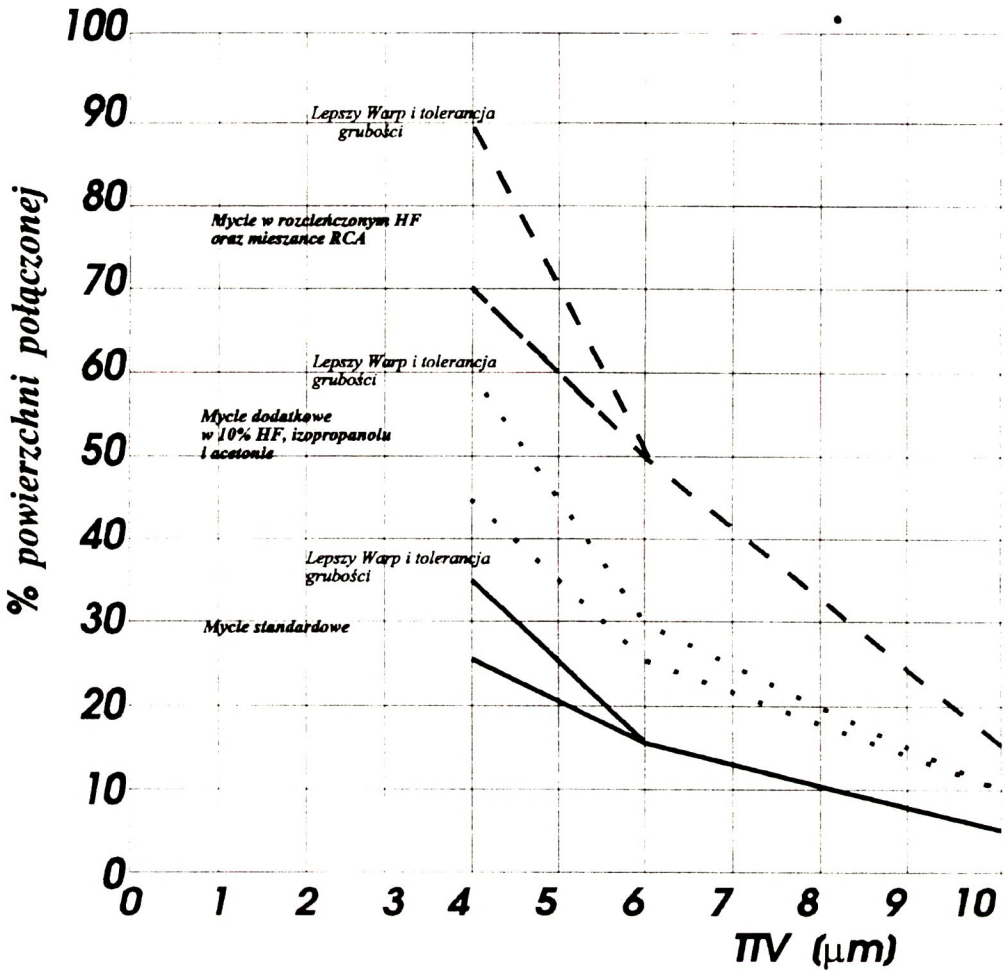
**3. Mycie w rozcieńczonym kwasie fluorowodorowym oraz mieszance RCA**  
**3. Washing in dilute HF and RCA mixture**

Warp [μm]	20	20	15	15	15
TTV [μm]	10	6	6	4	4
Tolerancja [μm]	±15	±15	±15	±15	±10
% dobrej powierzchni	15	50	50	70	90

Warp - zwichrowanie płytki.  
 TTV - Total thickness variation - całkowita zmiana grubości.  
 Tolerancja - tolerancja grubości płytki.  
 % dobrej powierzchni - % powierzchni płytek prawidłowo połączonych.

- pierwsze próby przeprowadzono myjąc płytki w sposób standardowy,
- w następnym cyklu prób wprowadzono dodatkowe mycie w HF 1% i 10% oraz w izopropanolu i acetonie. Uzyskano lepsze wyniki, lecz sposób mycia nie odpowiadał wymaganiom technologicznym,
- próby z zastosowaniem mycia w rozcieńczonym kwasie fluorowodorowym oraz mieszance RCA. Ten sposób mycia okazał się dotychczas najlepszy; połączone i wygrzane próbki myte tą metodą były testowane w pierwszych próbach rozciągania na nowym uchwycie przegubowym i spełniały warunek wytrzymałości firm ShinEtsu i Schlumberger (>28MPa).

Płytki stosowane do badań nie były utleniane. Jakość połączenia sprawdzano dwu-



Rys. 4. Zależność jakości połączenia (mierzonej procentem powierzchni trwale połączonej) od geometrii powierzchni (TTV, Warp, tolerancja grubości) i jakości mycia.

Fig. 4. Dependence of bond quality (define by percentage of bonded surface) on surface quality (TTV, Warp, thickness tolerance) and washing quality.

кратно, po łączeniu w temperaturze pokojowej i po wygrzewaniu w temperaturze 1100°C ( optymalnej - według danych literaturowych). Obrazy płytek w podczerwieni na ogół nie różniły się między sobą. W kilku jednak przypadkach obserwowano opisane w literaturze [4] zanikanie po wygrzewaniu rozwarstwień o małej powierzchni. W tym przypadku w Tabeli 2 podano wyniki gorsze, z obserwacji bezpośrednio po łączeniu na zimno.

Dane umieszczone w tabelach są wartościami średnimi dla wszystkich płytek obrabianych wg podanych parametrów. Prowadzone są dalsze prace nad polepszeniem otrzymanych wyników.



Prowadzono także próby łączenia płytek utlenionych. Grubość uzyskanej warstwy tlenku wynosiła 0.5  $\mu\text{m}$ . Płytki przygotowywane były według najlepszych schematów stosowanych dla płytek nie utlenionych, a więc osiągnięto geometrię powierzchni płytek przed łączeniem: Warp < 15  $\mu\text{m}$ , TTV < 4  $\mu\text{m}$  i tolerancję grubości -  $\pm 10 \mu\text{m}$ . Płytki te myto w mieszance RCA. Płytki z tej partii miały po połączeniu i wygrzaniu od 87 do 95% powierzchni dobrej.

#### 4. WNIOSKI

Na podstawie opisanych prób można wnioskować, że decydujący wpływ na jakość połączenia wywiera czystość powierzchni przed łączeniem (ilość i rodzaj zanieczyszczeń). Z tego powodu krytyczne są czasy między zakończeniem obróbki mechanicznej, a myciem. Jednak przede wszystkim między myciem, a początkiem operacji łączenia termicznego; czasy te bowiem, to okres szczególnie intensywnej adsorpcji zanieczyszczeń z powodu zwiększonej aktywności powierzchni płytek wskutek obróbki. Rys. 4 pokazuje, że przy dalszej poprawie geometrii (Warp < 10  $\mu\text{m}$ , TTV < 3  $\mu\text{m}$ , tolerancja grubości - < 5  $\mu\text{m}$ ) i przy odpowiedniej czystości możliwe będzie uzyskanie całkowicie połączonych powierzchni płytek.

#### BIBLIGRAFIA

- [1] Bengtsson S.: Semiconductor wafer bonding: A review of interfacial properties and applications; J.of Electronic Materials. 21, 1992,8,841-862
- [2] Maszara W.P.: Silicon-on-insulator by wafer bonding: A review. J.Electrochem. Soc., 138, 1991, 1, 341-347
- [3] Maszara W.P.at al: Bonding of silicon wafers for silicon-on-insulator. J.Appl. Phys. 64, 1988, 10, 4943-4950
- [4] Maszara W.P.: Wafer bonding: SOI, generalized bonding, and new structures. Microelectronic Engineering 22, 1993, 299-306
- [5] Gilman J.J.: Direct measurements of the surface energies of crystals; J.Appl. Phys. 31, 1960, 2208-2218

#### THERMAL BONDING OF SILICON WAFERS

##### Summary

A review is given on silicon wafer thermal bonding. The results of the research on the obtaining of silicon wafer bonding are presented.