

# **BADANIA NAD MECHANICZNYM I CHEMICZNYM POCIENIANIEM TERMICZNIE POŁĄCZONYCH PŁYTEK KRZEMOWYCH**

Bronisław Piątkowski<sup>1</sup>, Piotr Zabierowski<sup>1</sup>, Artur Miros<sup>1</sup>

Przeprowadzono badania nad mechanicznym i chemicznym pocienianiem termicznie łączonych płytek krzemowych metodą pocieniania w procesie szlifowania mechanicznego oraz trawienia alkalicznego i kwaśnego.

## **1. WSTĘP**

Podstawowe zagadnienia dotyczące termicznego łączenia płytek przedstawiono w artykule zamieszczonym w 4 numerze „Materiałów Elektronicznych” w roku 1996. W artykule tym przedstawiono mechanizm powstawania połączenia płytek, reakcje zachodzące podczas wygrzewania, metody testowania połączeń – wytrzymałości na rozciąganie i rozszczepianie połączonych płytek, oraz oceny jakości połączenia metodą prześwietlania w podczerwieni. Przedstawiono również wyniki wstępnych prób łączenia płytek o średnicy 2”.

W latach 2000 – 2001 w ITME przeprowadzono badania nad łączeniem termicznym płytek o średnicy 3” i 4” oraz nad ich pocienianiem. W wyniku tych badań opracowano technologię wytwarzania płytek połączonych, a następnie pocienianych.

## **2. WYMAGANIA DLA PŁYTEK TERMICZNIE POŁĄCZONYCH**

Płytki połączone, gdzie na granicy łączenia znajduje się tlenek (SOI – Silicon on Insulator) mają duże zastosowanie w produkcji układów np. MOS, CMOS, MOSFET. Powierzchnię jednej z płytek pocienia się (np. dla struktur MOS grubość warstwy pozostającej na tlenku wynosi  $\sim 1 \mu\text{m}$ ) i na tej cienkiej warstwie tworzy się struktury. Zaletą tak wykonanych płytek jest podłoże

---

<sup>1)</sup> Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych, ul. Wólczyńska 133,  
01-919 Warszawa, e-mail: zabier\_p@itme.edu.pl

izolacyjne oraz możliwość tworzenia mniejszych struktur. Płytką podłożową (nie pocieniana) służy również do odprowadzania ciepła z układu. Inne zastosowania takich płytek to produkcja czujników. Są to np. czujniki naprężeń, pomiaru ciśnienia, przepływu itp. Do tych celów płytki są również pocieniane. Podobne zastosowanie mają płytki łączone termicznie bez warstwy tlenu.

W Tab.1 zamieszczono przykładowe wymagania dla krzemowej warstwy czynnej płytek połączonych w zależności od przeznaczenia. Przedstawiono również sposoby ich pocieniania [1].

**Tabela 1.** Typowe wymagania warstw pocienianych dla różnych wyrobów i odpowiadające im sposoby pocieniania płytek.

**Table 1.** Typical requirements of silicon device layers by various applications and the corresponding thinning technologies.

	Czujniki	Bipolarne przyrządy mocy	Bipolarne przyrządy mocy o dużej szybkości oraz BiCMOS	CMOS VLSI
Grubość warstwy	1-10 $\mu\text{m}$	4-100 $\mu\text{m}$	1-2 $\mu\text{m}$	0,1-0,05 $\mu\text{m}$
Tolerancja grubości	+/- 1 $\mu\text{m}$	+/- 0,5 $\mu\text{m}$	+/- 0,1 $\mu\text{m}$	+/- 5%
	Mechaniczne pocienianie		Miejscowe polerowanie lub trawienie	

Jak widać z Tab.1 wymagania dotyczące geometrii płytek są bardzo wysokie, co szczególnie dotyczy płytek BiCMOS i CMOS VLSI. Dla płytek przeznaczonych do produkcji czujników oraz przyrządów mocy wymagania dotyczące parametrów geometrycznych są już niższe, a na pewne urządzenia mogą być znacznie niższe niż podano w Tab.1. Do produkcji płytek o najwyższych wymaganiach stosuje się specjalne urządzenia do polerowania lub do trawienia plazmowego. Najpierw wykonywane są pomiary grubości warstwy (mapa powierzchni), a następnie w odpowiednich miejscach usuwany jest materiał.

Dla dwóch pierwszych rodzajów płytek (czujniki, bipolarne przyrządy mocy) stosuje się najczęściej pocienianie mechaniczne, na które składają się trzy operacje: szlifowanie, trawienie oraz polerowanie. Szlifowanie tradycyjne za pomocą proszków szlifierskich (lapping) zastępuje się obecnie szlifowaniem tarczami diamentowymi (grinding). Szlifowanie takie zapewnia lepszą kontrolę grubości i mniejsze uszkodzenia warstwy podpowierzchniowej. Płytki w tej operacji szlifowane są indywidualnie. Uszkodzenia podpowierzchniowe po tej operacji wynoszą od kilku mikronów do wielkości submikronowych w zależności od wielkości ziarna diamentu w stosowanej tarczy. Po operacji szlifowania płytki są chemicznie trawione dla usunięcia warstwy uszkodzonej, a na-

stępnie polerowane mechaniczno-chemicznie. Podczas polerowania osiąga się założoną grubość warstwy oraz odpowiednią gładkość powierzchni. Do operacji tej zaczyna się stosować polerki jednopłytkowe (polerowanie indywidualne każdej płytki), co zapewnia dużo lepszą kontrolę grubości. Oprócz podanej powyżej metody pocieniania mechanicznego stosuje się również metodę pocieniania poprzez trawienie powierzchni jednej z połączonych płytek.

### 3. OPIS PRZEPROWADZONYCH PRÓB

Sposób łączenia płytek został opracowany w poprzednim etapie. W obecnym etapie zajmowano się badaniami nad metodami pocieniania jednej z połączonych termicznie płytek do wymaganej grubości .

Przy obecnie posiadanym parku maszynowym ITME w granicach jego możliwości jest wykonywanie płytek przeznaczonych do wyrobu czujników lub przyrządów mocy. Wymagania na takie płytki są następujące: czujniki – grubość warstwy 1-15  $\mu\text{m}$ , zalecana tolerancja grubości  $\pm 1 \mu\text{m}$ ; przyrządy mocy – grubość warstwy 4 – 100  $\mu\text{m}$ , zalecana tolerancja grubości  $\pm 0,5 \mu\text{m}$ . Tak wąski zakres grubości wymagany jest dla płytek o bardzo cienkiej grubości warstwy, dla grubszych warstw wymagania są łagodniejsze.

Biorąc pod uwagę możliwości techniczne ITME założono uzyskanie płytek o grubościach warstw 10 – 20  $\mu\text{m}$  z tolerancją grubości  $\pm 3 \mu\text{m}$ . Badania prowadzono dla płytek o średnicach 76 i 100 mm. Przygotowanie płytek oraz sposób ich łączenia prowadzono zgodnie z opracowaną technologią. Parametry geometryczne płytek (grubość, tolerancja grubości, TTV - *Total Thickness Variation* – całkowita zmiana grubości) dobierano tak, aby po połączeniu można było dysponować partiami płytek (5–6 sztuk) o różnicach grubości  $\pm 2 \mu\text{m}$  oraz TTV nie przekraczającym 5  $\mu\text{m}$ . Wielkość TTV – ma bardzo duże znaczenie przy wykonywaniu cienkich warstw. Jeśli płytki mają zbyt wysokie TTV może się zdarzyć tak, że w krańcowym przypadku pocieniana warstwa będzie miała obszary materiału całkowicie usunięte i w tych miejscach odsłonięta zostanie warstwa tlenku. Tak wybrane partie płytek poddawano wybranej operacji pocieniania mechanicznego lub chemicznego, a następnie polerowano do uzyskania odpowiedniej grubości i jakości powierzchni. Po poszczególnych operacjach mierzono grubość płytek oraz błąd płaskorównoległości (wyniki przedstawiono w Tab. 2-7). Przebadano dwa sposoby pocieniania płytek – mechaniczne (szlifowanie) oraz poprzez trawienie chemiczne. Płytki otrzymane w wyniku tych operacji były następnie polerowane.

Nie dysponując szlifierką do jednostronnego usuwania materiału za pomocą tarczy diamentowej (takie są obecnie najczęściej stosowane do tej operacji), pocieniano płytki na maszynie planetarnej, gdzie płytki szlifuje się w kasetach.

Płytki w takiej maszynie szlifowane są równocześnie z obu stron. Zapewnia to bardzo dobre parametry geometryczne otrzymywanych płytek (Tab. 2). Przy pocienianiu, najważniejszym parametrem jest ilość materiału usunięta ze strony czynnej płytki. Badając grubości połączonych płytek na przełomie stwierdzono, że materiał z obu stron połączonych płytek jest usuwany niesymetrycznie w sposób przypadkowy. Przeprowadzone próby dla ustalenia przyczyny tego zjawiska nie dały rezultatów i choć taki sposób szlifowania zapewnia najlepsze parametry geometryczne musiano z niego zrezygnować.

**Tabela 2.** Wyniki uzyskane w procesie pocieniania płytek poprzez szlifowanie dwustronne (planetarne). Przedstawione wyniki obejmują 3 partie płytek, z których usunięto różne ilości materiału. Podane wyniki są średnimi wielkościami dla danej partii. Płytki do szlifowania były dobierane w zakresach grubości  $\pm 2 \mu\text{m}$ .

**Table 2.** Summary of the results from mechanical thinning by two sides lapping (in carriers).

Płytko do pocieniania				Płytko po pocienianiu				
Numer partii	Średnica	Grubość	TTV	Grubość	Ilość usuniętego materiału	Grubość warstwy pocienianej	Rozrzut grubości	TTV
	mm	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$
1	76,2	464+280	3	268+84	196+196	84	3	3
2	76,2	520+244	3	318+42	202+202	42	3	3
3	100	682+356	3	375+49	307+307	49	3	3

Następne próby pocieniania wykonywano na tej samej szlifierce planetarnej z tą różnicą, że płytki były szlifowane tylko z jednej strony (jedną tarczą). Płytki wkładano do otworów w plastikowej kasecie szlifierskiej o grubości 2 mm. Docisk do tarczy szlifierskiej realizowano za pomocą obciążników. Tą metodą szlifowano tylko płytkę pocienianą. Szybkość zbierania materiału była mniejsza niż przy szlifowaniu dwustronnym i wynosiła około  $8 \mu\text{m}/\text{min}$ . Uzyskane parametry geometryczne szlifowanych płytek były tylko nieznacznie gorsze od otrzymywanych przy szlifowaniu dwustronnym (Tab. 3).

Przeprowadzono również próby szlifowania strony czynnej płytki przyklejonej do bloku na szlifierce przeznaczonej do jednostronnego szlifowania. Metoda ta pozwala na szybkie usuwanie materiału  $\sim 25 \mu\text{m}/\text{min}$ . Uzyskuje się to poprzez stosowanie większych nacisków podczas procesu. Parametry geometryczne płytek szlifowanych tą metodą są jednak gorsze od szlifowanych metodami opisanymi wcześniej (Tab. 4).

**Tabela 3.** Wyniki uzyskane w procesie pocieniania płytek poprzez szlifowanie jednostronne w kasetach. Przedstawione wyniki obejmują 7 partii płytek, z których usunięto różne ilości materiału. Podane wyniki są średnimi wielkościami dla danej partii. Płytki do szlifowania były dobierane w zakresach grubości  $\pm 2 \mu\text{m}$ .

**Table 3.** Summary of the results from mechanical thinning by one side lapping (in carriers).

Płytko do pocieniania				Płytko po pocienianiu				
Numer partii	Średnica	Grubość	TTV	Grubość	Ilość usuniętego materiału	Grubość warstwy pocienianej	Rozrzut grubości	TTV
	mm	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$
1	76,2	381+250	2	381+56	194	56	3	3
2	76,2	356+275	3	356+48	227	48	5	3
3	76,2	377+241	2	377+40	201	40	4	4
4	100	521+454	3	521+58	396	58	5	4
5	100	535+351	3	535+47	304	47	5	4
6	100	456+308	3	456+51	257	51	5	4
7	100	472+208	3	472+56	152	56	4	3

**Tabela 4.** Wyniki uzyskane w procesie pocieniania płytek poprzez szlifowanie jednostronne (płytki przyklejone do bloków). Przedstawione wyniki obejmują 5 partii płytek, z których usunięto różne ilości materiału. Podane wyniki są średnimi wielkościami dla danej partii. Płytki do szlifowania były dobierane w zakresach grubości  $\pm 2 \mu\text{m}$ .

**Table 4.** Summary of the results from mechanical thinning by one side lapping (wafers mounting on the wax to lapping carrier).

Płytko do pocieniania				Płytko po pocienianiu				
Numer partii	Średnica	Grubość	TTV	Grubość	Ilość usuniętego materiału	Grubość warstwy pocienianej	Rozrzut grubości	TTV
	mm	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$
1	100	529+450	3	529+64	386	64	7	5
2	100	508+359	3	508+61	298	61	7	6
3	100	450+256	4	450+66	190	66	7	6
4	100	466+204	3	466+58	146	58	6	6
5	100	518+196	3	518+68	128	68	6	5

Na płytkach po szlifowaniu występują duże naprężenia, które mogą nawet doprowadzić do ich pęknięcia. Zależy to od sposobu obróbki – wielkości ziarna proszku szlifierskiego oraz stosowanego nacisku. Naprężenia te usuwa się w procesie trawienia, któremu poddaje się płytki przed polerowaniem.

Drugą metodą pocieniania jest usuwanie materiału poprzez trawienie [1-3]. Stosuje się w niej mieszanki trawiące alkaliczne lub kwaśne w zależności od orientacji krystalograficznej obrabianych płytek.

Do trawienia alkalicznego stosuje się 10 – 60% roztwór KOH w wodzie.

Do trawienia kwaśnego najczęściej stosuje się mieszanki kwasów fluorowodorowego (49%), azotowego (70%), octowego (100%) w stosunku 1:3:8 (mieszanka 1-3-8) lub 1:4:1 (mieszanka MT - 3).

Do pocieniania jednej ze stron połączonych płytek stosuje się maskowanie strony przeciwnej specjalną folią, woskiem lub nałożoną warstwą tlenku.

### **Trawienie alkaliczne**

Do trawienia alkalicznego oprócz roztworów KOH można również stosować roztwory NaOH, NH<sub>4</sub>OH, roztwór EDP (etylenodwuamina-pyrokatechina-woda) oraz roztwór KOH z dodatkiem alkoholu izopropylowego o składzie 23% KOH, 63% H<sub>2</sub>O, 14% alkoholu izopropylowego. Trawienie w roztworach alkalicznych przy zdejmowaniu nawet dużej ilości materiału nie wpływa ujemnie na parametry geometryczne płytek. W procesach trawienia szybkość usuwania materiału zależy w dużym stopniu od temperatury roztworu. Dla trawienia alkalicznego optymalna temperatura wynosi ~120°C, przy której szybkość usuwania materiału wynosi 15-16 μm/min (w temperaturze 100°C 7-8 μm/min). Do trawienia stosuje się roztwory 25-35%. Mieszanki alkaliczne można stosować do trawienia płytek krzemowych o orientacji (100) oraz (110). Płytki o orientacji (111) trawią się ~30 razy wolniej niż te o orientacji (100). Szybkości trawienia mieszanki alkalicznej dla monokryształów krzemu o różnych orientacjach przedstawiają się następująco:

$$(110) : (100) : (111) = 50 : 30 : 1 \quad \text{w temperaturze } 100^{\circ}\text{C}$$

$$(110) : (100) : (111) = 160 : 100 : 1 \quad \text{w temperaturze pokojowej.}$$

Również dużo wolniej trawi się krzem domieszkowany borem o wyższej koncentracji.

W przeprowadzanym badaniu próby trawienia wodnym roztworem KOH oraz roztworem KOH z dodatkiem alkoholu izopropylowego. Badania prowadzono stosując różne stężenia mieszanek oraz trawienie w roztworach o różnej temperaturze. Miało to na celu dobranie warunków procesu, który zapewniał najlepsze parametry geometryczne trawionych płytek. Wyniki prób trawienia podano w Tab. 5.

### **Trawienie kwaśne**

Do prób pocieniania stosowano mieszankę MT-3, ponieważ mieszanka ta charakteryzuje się dużą szybkością trawienia.

Szybkość usuwania materiału dla mieszanki MT-3 wynosi ~ 10 μm/min.

Mieszanka 1-3-8 trawi znacznie wolniej i np. z krzemu wysokodomieszkowanego usuwa 2-3 μm/min, a z krzemu o niskiej koncentracji domieszki prawie 100 razy mniej. Podczas prób trawienia nie udało się uzyskać parametrów geometrycznych płytek równie dobrych jak podczas trawienia alkalicznego. Wyniki prób zamieszczono w Tab. 6.

**Tabela 5.** Wyniki uzyskane w procesie pocieniania płytek poprzez trawienie w roztworach alkalicznych. Przedstawione wyniki obejmują 5 partii płytek, z których usunięto różne ilości materiału. Podane wyniki są średnimi wielkościami dla danej partii. Płytki do trawienia były dobierane w zakresach grubości  $\pm 2 \mu\text{m}$ .

**Table 5.** Summary of the results from chemical thinning (alkaline etching).

Płytko do pocieniania				Płytko po pocienianiu				
Numer partii	Średnica	Grubość	TTV	Grubość	Ilość usuniętego materiału	Grubość warstwy pocienianej	Rozrzut grubości	TTV
	mm	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$
1	76,2	388+321	3	388+41	280	41	4	4
2	76,2	307+252	3	307+53	199	53	3	3
3	100	518+304	4	518+59	245	59	5	4
4	100	514+258	3	514+60	198	60	4	3
5	100	532+206	3	532+59	147	59	3	3

**Tabela 6.** Wyniki uzyskane w procesie pocieniania płytek poprzez trawienie w mieszance kwaśnej MT-3. Przedstawione wyniki obejmują 5 partii płytek, z których usunięto różne ilości materiału. Podane wyniki są średnimi wielkościami dla danej partii. Płytki do trawienia były dobierane w zakresach grubości  $\pm 2 \mu\text{m}$ .

**Table 6.** Summary of the results from chemical thinning (acid etching).

Płytko do pocieniania				Płytko po pocienianiu				
Numer partii	Średnica	Grubość	TTV	Grubość	Ilość usuniętego materiału	Grubość warstwy pocienianej	Rozrzut grubości	TTV
	mm	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$
1	100	419+310	3	419+12	298	12	6	6
2	100	351+201	4	351+30	171	30	6	6
3	100	404+196	3	404+42	154	42	5	5
4	100	407+339	3	407+47	292	47	6	7
5	100	373+208	4	373+82	126	82	5	5

### Polerowanie końcowe płytek po operacjach pocieniania

Płytki łączone, a następnie pocieniane powinny mieć stronę czynną polerowaną, a bierną trawioną lub również polerowaną. Płytki po operacjach pocieniania wymagały więc polerowania przynajmniej jednej ze stron. Stronę czynną płytek pocienianych polerowano mechaniczno-chemicznie usuwając z powierzchni około 30–50  $\mu\text{m}$  krzemu. Chropowatość powierzchni po polerowaniu była mniejsza niż 5  $\text{\AA}$ .

Poważnym problemem podczas polerowania było wykruszanie się krawędzi płytek. Następuje to wówczas, kiedy grubość warstwy pocienionej dochodzi do 20 – 30  $\mu\text{m}$ . Przyczyną tego jest zaokrąglenie krawędzi płytek (tzw. krawędziowanie).

Wyniki prób polerowania podano w Tab. 7.

**Tabela 7.** Wyniki uzyskane w procesach polerowania łączonych płytek po pocienianiu różnymi metodami. Płytki szlifowane przed operacją polerowania były krótko trawione (usuwało  $\sim 2 - 3 \mu\text{m}$  materiału). Podane wyniki są średnimi wielkościami dla danej partii.

**Table 7.** Summary of the results from thinning wafers (after polishing).

Płytki przed polerowaniem					Płytki po polerowaniu			
Numer i rodzaj obróbki	Średnica	Grubość + warstwa	Rozrzut grubości	TTV	Ilość usuniętego materiału	Grubość warstwy pocienianej	Rozrzut grubości	TTV
	mm	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$	$\mu\text{m}$
1 szlifowanie dwustronne	76,2	318+42	3	3	28	14	4	3
2 szlifowanie dwustronne	100	375+49	3	3	32	17	4	3
3 szlifowanie	76,2	318+56	3	3	33	23	4	3
4 szlifowana jednostronnie w kasetach	76,2	377+40	4	4	27	13	5	4
5 szlifowana jednostronnie w kasetach	100	456+51	5	4	30	21	5	4
6 szlifowana jednostronnie w kasetach	100	472+56	4	3	26	20	5	3
7 szlifowanie jednostronnie przyklejane	100	450+66	7	6	36	30	8	7
8 szlifowanie jednostronnie przyklejane	100	518+68	6	6	33	35	8	6
9 trawione alkalicznie	76,2	307+53	3	3	35	18	5	3
10 trawione w roztworach alkalicznych	100	532+59	3	3	31	28	5	3
11 trawione w roztworach kwaśnych	100	404+42	5	5	28	14	6	6
12 trawione w roztworach kwaśnych	100	373+82	5	5	39	43	7	7



#### 4. WNIOSKI

Opracowano technologię łączenia oraz pocieniania płytek o średnicach 76 oraz 100 mm, na którą składało się przygotowanie płytek do łączenia, łączenie i wygrzewanie połączonych płytek oraz pocienianie jednej z płytek do wymaganej grubości. Przeprowadzono badania nad pocienianiem płytek. Przebadano metody: mechaniczną (szlifowanie) oraz poprzez trawienie chemiczne. Najlepsze wyniki uzyskano dla płytek szlifowanych w kasetach (szlifierka planetarna) oraz trawionych alkalicznie. Metody szlifowania płytek przyklejonych do bloków oraz trawionych w mieszkankach kwaśnych nie dały zadowalających rezultatów. Stosując dwie pierwsze metody, uzyskano płytki o parametrach zgodnych z założeniami tzn. otrzymano płytki pocienione do 10 – 30  $\mu\text{m}$  o rozrzucie grubości w granicach 5  $\mu\text{m}$  i TTV  $\sim$  3  $\mu\text{m}$ .

#### BIBLIOGRAFIA

- [1] Properties of Crystalline Silicon - Datareview 18,5 and Etchback SOI
- [2] Bengtsson S.: *Semiconductor wafer bonding: A review of interfacial properties and applications*. Journal of Electronic Materials. 21, 8, (1992)
- [3] Lee H., Ju B.K.: *On the anisotropically etched bonding interface of directly bonded(100) silicon wafer pairs*. J. Electrochem. Soc., 42, 2, (1995)

#### THE INVESTIGATION OF THE MECHANICAL AND CHEMICAL THINNING OF SILICON BONDED WAFERS

##### Summary

The investigation of the mechanical and chemical thinning of the top wafers to the desired thickness was done. The method of thinning in lapping process and in alkali and acid etchant was investigated.