

TECHNOLOGIA PODŁOŻY KWARCOWYCH DO REZONATORÓW I FILTRÓW Z AKUSTYCZNĄ FAŁĄ POWIERZCHNIOWĄ

Władysław Hofman, Tadeusz Wróbel, Waldemar Soluch

Artykuł przedstawia wyniki prac technologicznych oraz ocenę jakościową i aplikacyjną podłoży kwarcowych do przyrządów z akustyczną falą powierzchniową (AFP). Ocenie poddano płytki wycięte z dwóch typów kryształów: brył typu Z, w których dominuje wzrost dwuścianu podstawowego (0001) i brył typu R, zorientowanych na rozwój ścian romboedru ujemnego ($10\bar{1}1$). Pierwszy kryształ dopuszcza wykrój 2 1/4", a drugi 3" bezzarodziowych podłoży o orientacjach cięć od AT do ST. Porównanie kosztów produkcji, w odniesieniu do jednostkowego obszaru użytkowego płytki, wypada korzystniej dla podłoży trzycalowych jednak z ostateczną oceną należy wstrzymać się do zakończenia testów aplikacyjnych. W przypadku płytek 2 1/4" potwierdzono ich dobrą jakość uzyskując prawidłowe charakterystyki pracy 300 MHz rezonatorów czwórnikowych z AFP.

1. WSTĘP

Historia rozwoju przyrządów z AFP zaczęła się w roku 1965 kiedy to White i Volmer [1] opracowali przetwornik międzypalczasty umożliwiający skuteczną generację fal powierzchniowych Rayleigha na podłożu piezoelektrycznym. Stosunkowo szybko przetworniki te znalazły szerokie zastosowania w różnych systemach przetwarzania sygnałów wysokiej częstotliwości poczynając od filtrów telewizyjnych (kilkadziesiąt MHz), a kończąc na sygnałach radarowych przekraczających częstotliwości 1 GHz.

Do dnia dzisiejszego utrzymała się dominacja kwarcu i niobianu litu jako dwóch najczęściej stosowanych materiałów podłożowych w konstrukcjach przyrządów z AFP. Specyficzne własności kwarcu sprawiły, że płytki SiO_2 przeznacza się głównie do filtrów wąskopasmowych i rezonatorów pracujących w układach generacyjnych przy częstotliwościach większych od 200 MHz. Elementy te charakteryzują się wysoką dobrocią i stabilnością częstotliwości, małymi szumami, dobrą wytrzymałością mechaniczną, niewielkimi rozmiarami i niską ceną [2]. Powyższe cechy stanowią głów-

¹⁾ Instytut Technologii Materiałów Elektronicznych
ul. Wólczyńska 133, 01-919 Warszawa

ne atuty rezonatorów wytwarzanych na kwarcu, co tłumaczy ich szerokie rozpowszechnienie w urządzeniach konsumenckich, przemysłowych i militarnych. Wyróżniają się tu takie obszary zastosowań jak telewizja kablowa i satelitarna, komputery (modulatory do monitorów), telefonia komórkowa i telefony bezprzewodowe, przemysłowe urządzenia nadawczo-odbiorcze, telemetria w przemyśle i medycynie, radiolokacja (syntetyzatory częstotliwości, nadajniki) [3].

Z uwagi na zbieżność technologii wytwarzania przyrządów z AFP z technologią planarną stosowaną w produkcji układów scalonych, produkcję rezonatorów i filtrów z AFP oparto na strukturach chipowych nanoszonych na płytki okrągłe. Pierwotnie, do wykroju takich podłoży przeznaczano specjalnie duże monokryształy kwarcu typu Z otrzymywane w wielomiesięcznych procesach hodowli na zarodkach Z-wych. Do końca lat siedemdziesiątych wytwarzano podłoża o średnicach do 3" (z zarodką) i monosektorowe płytki 2" wycięte poza obszarem zarodki [4]. Niestety z uwagi na znaczne nachylenie stosowanych płaszczyzn propagacji fal powierzchniowych do Z-wych ścian kryształu, w czasie obróbki kwarcu powstawały duże straty materiałowe. Z tego powodu dość wcześnie zainteresowano się hodowlą kryształów na zarodkach romboedralnej tworzącej niewielkie kąty ($< 5^\circ$) z podstawowymi orientacjami płytek z AFP. Już w 1980 roku A.R. Armington i inni [5] oraz H. Bahadur i inni [6] wykonali badania porównawcze kryształów otrzymanych we wspólnym procesie na zarodkach o różnych orientacjach: Z, Z+5° i R. Uzyskane wyniki wskazywały na wyraźny wzrost degradacji struktury brył w miarę odchylenia orientacji zarodki od płaszczyzny (0001). Szczególnie zauważalny był wzrost gęstości dyslokacji, wzrost zawartości jonów sodu i glinu oraz spadek współczynnika dobroci materiałowej Q. Trudno dzisiaj ustalić, czy powyższe wyniki, czy też inne powody miały decydujący wpływ na fakt nieobecności kryształów romboedralnych na rynku kwarcu do połowy lat osiemdziesiątych. Szereg dokumentów pochodzących z tego okresu wyraźnie potwierdza fakt produkcji podłoży kwarcowych z AFP przede wszystkim na bazie kryształów typu Z. Na przykład na początku lat osiemdziesiątych firmy amerykańskie P. R. Hoffman Materials Processing i Sawyer Research Products Inc. oferowały wyłącznie płytki 3" z centralnie usytuowanym fragmentem zarodki kryształu [7,4]. Bulst i Willibald [8] prowadzili badania uzysku rezonatorów 300 i 461 MHz właśnie na takich podłożach, a firma RF Monolithics Inc (USA) reklamowała dobową zdolność produkcyjną sięgającą 150 000 sztuk przyrządów AFP na 3" płytkach wycinanych z monokryształów typu Z [3].

Przełom następuje w roku 1986. Firma P.R.Hoffman wprowadza seryjną produkcję monosektorowych 3" podłoży bezzarodkowych pochodzących z kryształów romboedralnych o dobroci minimalnej jednego miliona [9]. Równolegle firma Sawyer uruchamia produkcję płytek o takich samych wymiarach, ale o dobroci materiałowej większej od 1.8 miliona. W roku 1988 zespół R.A. Laudisa z Laboratorium Bella prezentuje prasę pt. "High performance quartz", w której dokonuje rewizji poglądów odnośnie hodowli kryształów romboedralnych [10]. Pomimo wolniejszego wzrostu

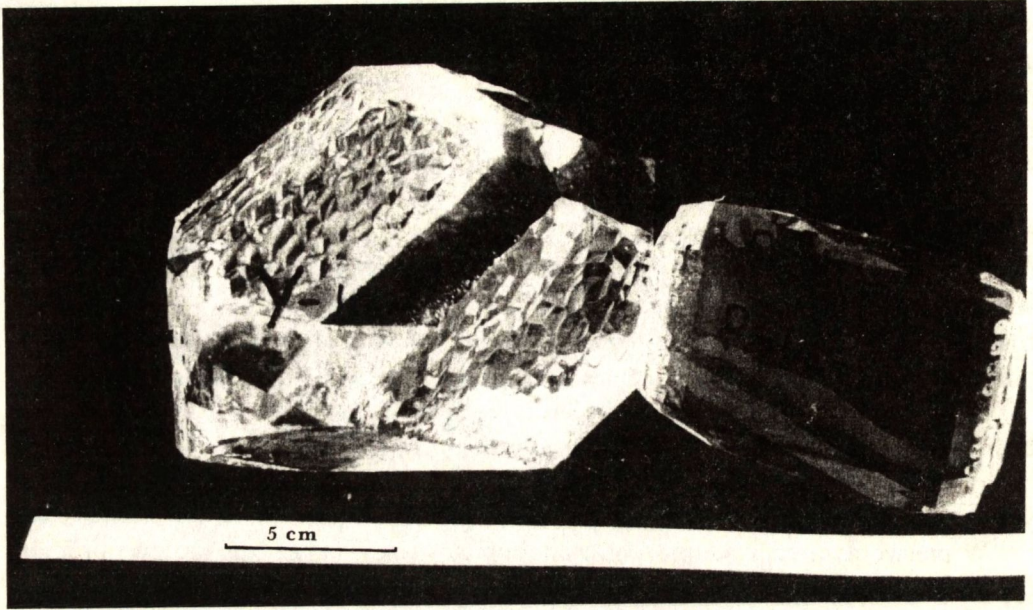
kryształy typu R zapewniają większe uzyski płytek z uwagi na możliwość pełniejszego wypełnienia autoklawu zarodkami ($10\bar{1}1$) oraz mniejszymi stratami kwarcu (~10%) podczas obróbki mechanicznej takich brył. Dodatkowym argumentem jest fakt lepszej jednorodności materiałowej płytek bezzarodkowych, co zapewnia lepszą powtarzalność charakterystyk elektrycznych przyrządów z AFP.

Od 1990 roku rywalizujące firmy amerykańskie oferują już 100 mm i 4" bezzarodkowe podłoża kwarcowe ST i AT [11,12]. Równolegle nasila się współzawodnicstwo w zakresie parametrów jakościowych płytek. Na Sympozjum Ultradźwiękowym w roku 1992 firma Sawyer proponuje nową, ilościową kwalifikację stopnia wypolerowania płytki do zastosowań AFP, a w następnym roku wprowadza na rynek podłoża o bardzo dobrej geometrii i bardzo małej chropowatości powierzchni. W odpowiedzi firma P.R.Hoffman oferuje, od 1994 roku, rozszerzony zakres kontroli płytek wprowadzając na życzenie klienta ocenę wartości TTV, TIR, lokalnego nachylenia i zwichrowania powierzchni wzorując się na standardach obowiązujących w tym zakresie dla płytek krzemowych [13].

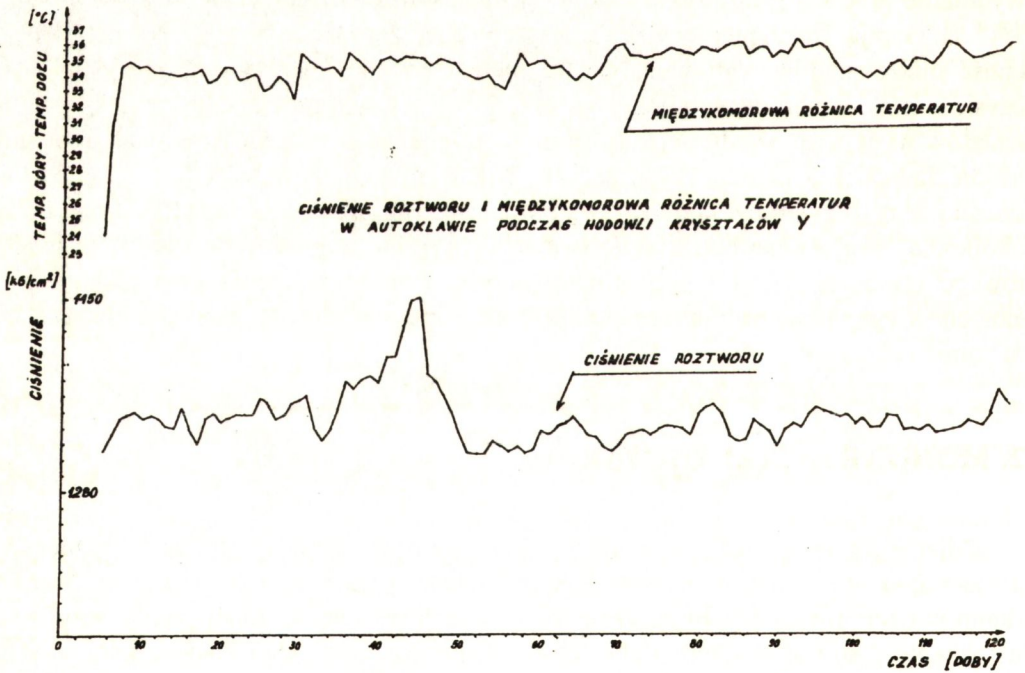
W pierwotnym zamysle prezentowanej pracy planowano oprzeć krajową produkcję podłoży AFP na dużym kryształach typu Z uzyskanym w ramach realizacji projektu celowego pt. "Monokrystaliczny kwarc wysokiej jakości do przyrządów z objętościową i powierzchniową falą akustyczną" [14]. Wymiary tej bryły dopuszczają wycinanie płytek z grupy AT-ST do 4", jednak krążki o średnicach większych od 2 1/4" zawierają fragmenty centralnie usytuowanej zarodki kryształu. Niestety obecność mikrokanałów wytrawień we fragmentach zarodki wpływa niekorzystnie na czystość powierzchniową podłoży. W trakcie polerowania powierzchni płytek, wnęki kanałów wypełniają się drobnopięnistym dwutlenkiem ceru trudnym do całkowitego usunięcia podczas kąpieli czyszczących. Nie wymyte pozostałości CeO_2 zanieczyszczają aktywną stronę podłoża pogarszając uzyski rezonatorów [15]. Powyższe okoliczności oraz silna potrzeba dopasowania wyrobu krajowego do standardu światowego (średnice 3 i 4") były głównym motywem rozszerzenia prac technologicznych uwzględniających opracowanie niewytwarzanego dotychczas w kraju kryształu romboedralnego.

2. MONOKRYSTAŁY KWARCU

Zdjęcie pierwsze przedstawia dwa pokroje monokrystalów, z których wykonano bezzarodkowe podłoża kwarcowe. Kryształ lewy hodowany na zarodki typu Z, uzyskano w czteromiesięcznym procesie hydrotermalnym przy średniej prędkości wzrostu ściany Z równej 0.4 mm/dobę. Kryształ prawy, hodowany na zarodki typu R, uzyskano w sześciotygodniowym procesie przy prędkości wzrostu ściany romboedralnej ~0.25 mm/dobę. Istotne parametry obu procesów podano w tabeli 1.

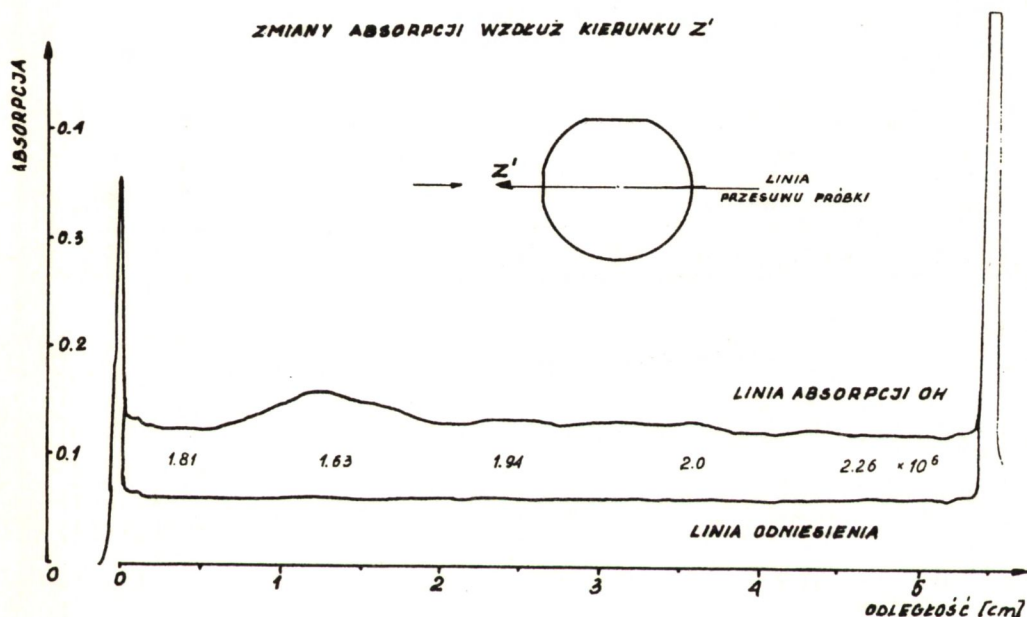


Rys. 1. Pokrój kryształów kwarcu: typ Z (lewy), typ R (prawy).



Rys. 2. Dobbowe zmiany międzykomorowej różnicy temperatur ΔT i ciśnienia P roztworu w procesie hodowli kryształów typu Z.

Na rysunku 2 pokazano zarejestrowane przebiegi średnich dobowych zmian ciśnienia i międzykomorowej różnicy temperatur (ΔT) dla procesu typu Z. Międzydobowe wahania temperatury ujawniają realne możliwości kontroli mocy sekcji grzewczo-chłodzących autoklawu. Jakkolwiek przeciętne różnice ΔT nie przekraczają 1°C , to jednak zdarzają się zmiany do 3°C . W piątym tygodniu procesu wystąpił wzrost ciśnienia roztworu na skutek niesprawności stabilizatora mocy dolnej sekcji grzałek reaktora. Zaburzenie to spowodowało okresowy wzrost prędkości krystalizacji, co z kolei przyczyniło się do lokalnego obniżenie dobroci Q materiału. Zmiany te

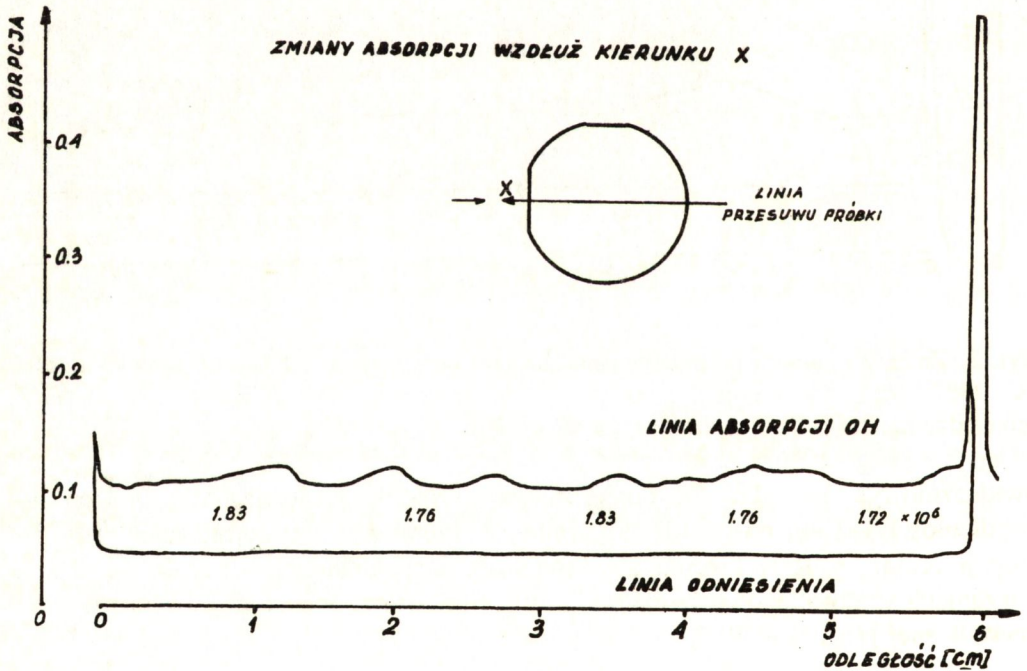


Rys. 3. Zmiany absorpcji promieniowania dla linii odniesienia ($\lambda = 2631.6 \text{ nm}$) i linii OH ($\lambda = 2857.1 \text{ nm}$) przy przesuwie próbki ST wzdłuż zaznaczonej linii Z' prostopadłej do osi X (pomiędzy liniami podano wyliczone wartości dobroci materiałowej Q).

uwidacznia rys. 3, na którym można zauważyć miejscowy wzrost absorpcji próbki w odległości 1-2 cm od zarodki kryształu. W literaturze dotyczącej zagadnień absorpcji promieni IR w kwarcu przyjmuje się, że pochłanianie to realizuje się na wiązaniach wodorotlenowych, czyli stowarzyszone jest z obecnością wodoru w sieci krystalicznej [16,17,18,19].

Tabela 1. Parametry procesów.

PARAMETR	PROCES Z	PROCES R
Wymiary zarodki [mm]	65*150-190*2 X*Y*Z	65*120*2 X*R ₁ *R
Średnie ciśnienie [bar]	1200	1630
Średnia międzykomorowa różnica temperatur.[°C]	35.5	42
Średnia prędkość wzrostu ściany głównej bryły [mm/dobę]	0.41	0.25
Czas krystalizacji [doby]	120	35
Q /10 ⁶ (zakres zmian)	1.6 - 2.4	0.8 - 1.8
Średnia masa kryształu [kg]	4.5	1
Masa brył na wieszaku [kg]	140	170



Rys. 4. Pomiary analogiczne, jak na rys. 3 przy przesuwie próbki ST wzdłuż zaznaczonej linii równoległej do osi X.

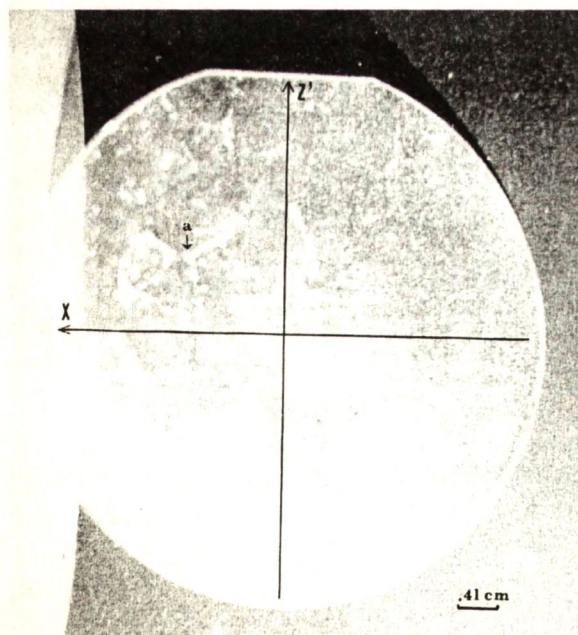
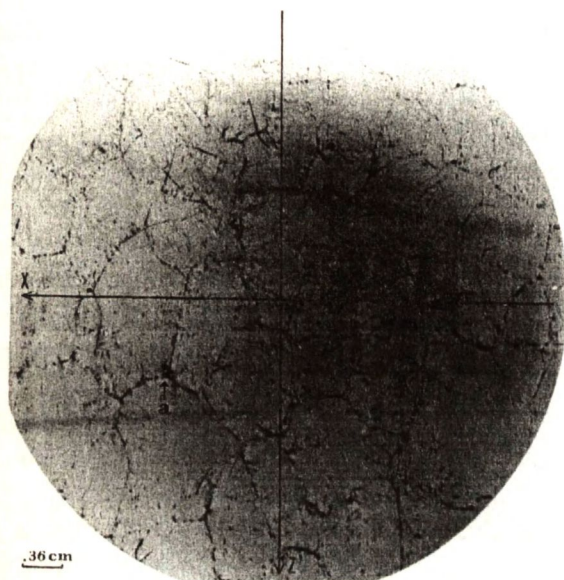
Intrygującym zjawiskiem było zarejestrowanie, na tej samej próbce, wolno-zmiennych oscylacji absorpcji wzdłuż linii równoległej do kierunku osi X (rys. 4).

Rysunek 5 przedstawia topogram rentgenowski, wykonany kamerą Langa, cienkiej płytki wyciętej z powyższej próbki z zachowaniem zgodności orientacji czół próbek. Ujawniona na topogramie struktura siatki nieregularnych oczek odpowiada granicom komórek wzrostu "ściany Z" [19]. Wzdłuż widocznych granic oczek obserwuje się wyraźne nagromadzenie linii dyslokacji. Obszary ujęć dyslokacji trwają się szybciej, przez co istnieje możliwość bezpośredniej wizualizacji konturów komórek na po-

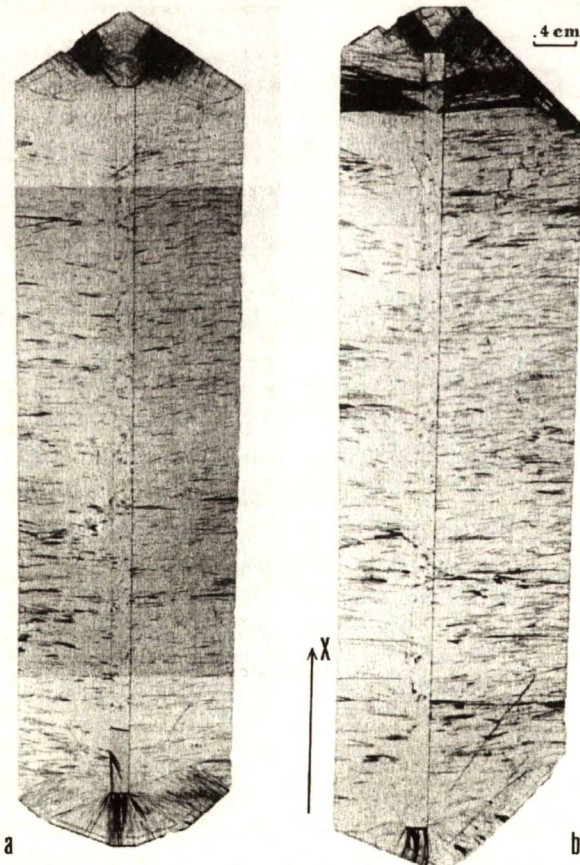
Rys. 5. Topogram rentgenowski wykonany techniką Langa w refleksie transmisyjnym (2110) dla próbki ST wyciętej z kryształu Z.

wierzchni płytki. Obraz konturów, zarejestrowany po trawieniu badanego podłoża w bifluorku amonu pokazano na zdjęciu 6. Dla kierunku osi X liczba i rozciągłość oczek sieci widocznych na topogramie jest porównywalna z liczbą i rozciągłością pasm absorpcji pokazanych na rys. 4. W tym przypadku korzystne było, również ułożenie granic komórek (prostopadłe) względem przesuwającej się wiązki pomiarowej promieni IR (linia X). Uwzględniając dodatkowo fakt, że pomiar

Rys. 6. Powierzchnia próbki pokazanej na rysunku 5 po trawieniu chemicznym.



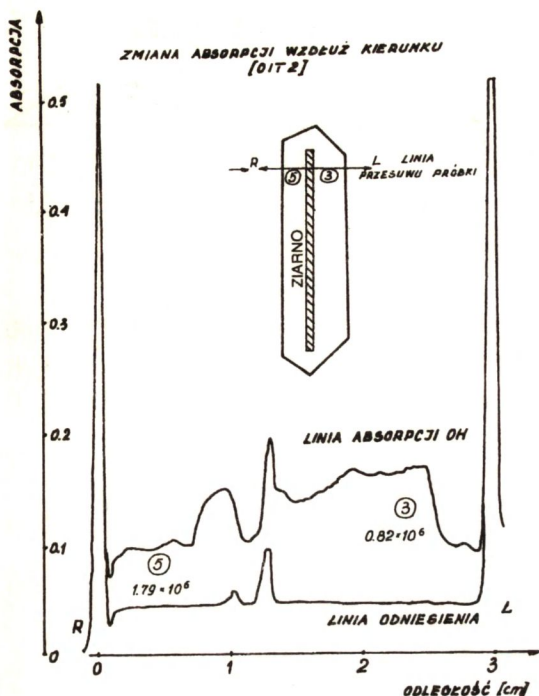
wzdłuż osi X odnosi się do partii monokryształu jednakowo oddalonej od płytki zarodki, można podejrzewać występowanie zjawiska nierównolicznego lokowania się wodoru w obszarach wewnętrznych i przygranicznych, indywidualnych komórek wzrostu. Nieobecność podobnych oscylacji absorpcji na krzywej z rys. 3 wynika zapewne z kilku wzajemnie nakładających się efektów. Po pierwsze, skanowanie próbki wzdłuż osi Z' dotyczy materiału, który krystalizował w ciągu całego procesu w warunkach stałotemperaturowych. W takich warunkach, następuje stopniowy spadek prędkości wzrostu materiału, na skutek naturalnego osłabienia dynamiki przepływów konwekcyjnych, w strefie przesyceń i poszerzenia warstwy dyfuzyjnej wokół rosnącej bryły [21]. Mechanizm ten prowadzi do spadku koncentracji grup wodorotlenowych w kryształach, czyli do poprawy jego dobroci co uwidacznia rys. 3 [22]. Po drugie, pas przesuwu wiązki IR (linia Z') obejmował, przeciwnie niż poprzednio, obszary granic międzykomórkowych ułożone raczej równoległe, a nie prostopadłe do kierunku Z'. W rezultacie końcowym, oba przyczynki mogły skutecznie przestąpić zmiany absorpcji spowodowane nierównolicznym lokowaniem się wodoru wewnątrz i przy ściankach komórek.



Badania rentgenostrukturalne i trawieniowe wykonano również na kryształach typu R. Rysunki 7a i 7b odpowiadają topogramom rentgenowskim (2110) dwóch próbek kwarcu wyciętych wzdłuż płaszczyzn (0111). Zdjęcia te ujawniają rozkłady dyslokacji, obecność granic międzysektorowych oraz nieliczne pasma wzrostu. Część dyslokacji rozwija się od krawędzi zarodki przy czym zauważalny wzrost gęstości linii występuje w sektorach ścian słupa heksagonalnego i romboedru ujemnego. Średnie koncentracje dyslokacji nie przekraczają 200 linii/cm².

Rys. 7. Topogram rentgenowski (2110) dla próbki wyciętej wzdłuż płaszczyzn (0112):

a) ze środkowej części kryształu R,
b) z końcowej części kryształu R.



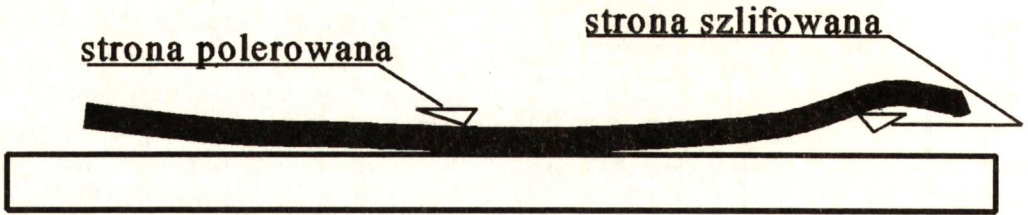
Na rysunku 8 przedstawiono zmiany absorpcji promieniowania w podczerwieni zarejestrowane wzdłuż kierunku wzrostu ściany R. Otrzymaną krzywą cechuje wyraźna asymetria przebiegu po obu stronach zarodki. W warstwie przyściennej kryształu (ściany R) występuje silny spadek absorpcji. W rezultacie dobroć materiału w okolicach zarodki nie przekracza 1 miliona, podczas gdy w pobliżu ścian zewnętrznych jest bliska wartości standardowej równej 1.8 miliona.

Rys. 8. Rozkład zmian absorpcji w podczerwieni zarejestrowany dla próbki pokazanej na rys. 7b.

3. PŁYTKI PODŁOŻOWE Z AFP

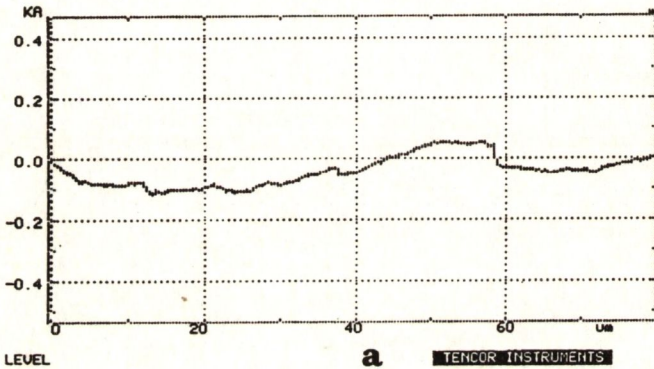
Jakkolwiek cykl wytwarzania obu typów podłoży różni się liczbą i kolejnością operacji cząstkowych, to w swojej istocie zarówno w przypadku płytek dwu, jak i trzycalowych obejmuje on trzy podstawowe etapy obróbki: cięcie, szlifowanie i polerowanie kwarcu. W poniższym opisie ograniczono się do scharakteryzowania zespołu czynności obejmujących proces przetwarzania kryształów romboedralnych na płytki trzycalowe, które od kilku lat są standardem na rynku podłoży z AFP.

Proces wytwarzania krążków 3" można z grubsza podzielić na 19 etapów. Etapy te, razem z ich krótkim opisem, podano w tabeli 2. Istotne czynniki każdej z 19-u operacji oraz ich wpływ na parametry jakościowe wyrobu przedstawiono w ostatniej kolumnie tabeli (numeracja parametrów według zdefiniowanej w tabeli 3). Zawarte tutaj charakterystyki wyróżniają te cechy narzędzi do obróbki oraz umiejętności operatorskie, które decydują o parametrach makroskopowych (geometrycznych) i mikroskopowych wytwarzanej płytki. Na przykład, płaskość tarczy szlifierskiej oraz luzu w układzie osi stolika goniometru rentgenowskiego decydują o wyznaczonej wartości dezorientacji krystalograficznej powierzchni czołowych i bazowych płytki. Podobnie, kształt tarczy naklejniczej oraz sposób rozmieszczenia i przyklejenia do niej płytek mają istotny wpływ na końcową wartość klinowatości podłoża.

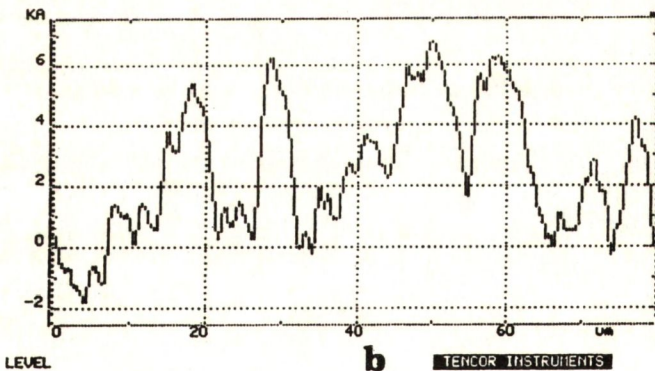


Rys. 9. Kontur płytki trzycalowej.

Na rysunku 9 pokazano krzywiznę płytki kwarcowej, w której znaczna część jej aktywnej (polerowanej) strony tworzy powierzchnię wklęsłą (potwierdzają to pomiary wygięcia). Poniżej (rysunki 10a i 10b) zamieszczono charakterystyczne profilogramy.



Rys. 10a. Profil gładkości (Ra) strony polerowanej płytki 3".



Rys. 10b. Chropowatość strony szlifowanej płytki 3".

my chropowatości obu stron podłoża uzyskane za pomocą igłowego profilometru, Tencor 200 Alpha Step. Wykresy te w połączeniu z rys.9 wykazują występowanie mechanizmu wyginania krążka przez naprężenia rozciągające, obecne w warstwie uszkodzonej od nie polerowanej strony płytki.

Tabela 2. Technologia obróbki płytek.

Nr	OPERACJA CZĄSTKOWA	SPOSÓB OBRÓBK	UWARUNKOWANIA NARZĘDZIOWE I ICH WPŁYW NA PARAMETRY PŁYTKI (par....)
1	orientowane szlifowanie pow. X i R bryły	szlifowanie proszkiem SiC (350 µm) z rentgenowską kontrolą orientacji	płaskość tarczy szlifierskiej, dokładność gonio- metru rtg. (par. 5)
2	obcinanie naroży kryształu, formowanie prostopadłości	rozkroj zewnętrzna, diamentową piłą tarczową	brak
3	cyldryczne obtaczanie prostopadłości	zataczanie bloczków prostopadłościennych na tokarce za pomocą ściernicy diamentowej	bicie wrzeczona tokarki i równoległość przesuwu ściernicy względem kryształu (par. 1, 14)
4	szlifowanie powierzchni bazowej -X bloczka cylindrycznego	szlifowanie proszkiem SiC (10 µm) z rentgenowską kontrolą orientacji	płaskość tarczy szlifierskiej, dokładność gonio- metru rtg. (par. 6)
5	klejenie po 5 bloczków w stos i bazą -X do uchwytu piły taśmowej	klejenie na zimno żywicą epoksydową	sposób dopasowania i dociśnięcia klejonych powierzchni (par. 5)
6	mocowanie uchwytu z kryształami na stoliku piły	orientowanie za pomocą szablonu pow. R względem płaszczyzny brzeszczotu	dokładność ustawienia pow.R względem szablonu i szablonu względem brzeszczotu (par. 1,5)

7	orientowany rozkrój sklejonego stosu na płytki	cięcie piłą wielotaśmową w zawieszynie olejowej, proszku SiC (27-31 μ m)	trwałość brzeszczotów, równomierność naciągu taśm (par. 3, 4, 5)
8	mycie płytek po cięciu, kontrola dezorientacji, segregacja grubościowa płytek	rentgenowska kontrola orientacji, pomiar grubości płytek mikromierzem ($\pm 2 \mu$ m)	dokładności przyrządów pomiarowych (par. 5)
9	dwustronne szlifowanie płytek	obróbka szlifierska powierzchni płytek na kasetowej szlifierce satalitowej w zawieszynie wodnej proszku Al_2O_3 (10 μ m)	płaskość tarcz szlifierskich, sposób rozmieszczenia płytek w kasetach (par. 2,3,8,14)
10	krawędziowanie płytek	szlifowanie obu krawędzi płytki na wklęsłej tarczy cylindrycznej z użyciem proszku Al_2O_3 (10 μ m) przy ręcznym docisku krążka kwarcu	sferyczność tarczy szlifierskiej (par. 1, 14)
11	mycie, segregacja grubościowa płytek	mycie w płynach detergentowych, pomiar grubości i klinowości płytek mikromierzem ($\pm 1 \mu$ m)	dokładności czujnika mikrometrycznego (par. 3)
12	przyklejanie płytek do bloków dociskowych	klejenie na ciepło, pod naciskiem, z zastosowaniem wosku	sposób rozmieszczenia płytek na szali i równomierność przyłożonego nacisku (par. 2,3)
13	jednostronne polerowanie płytek	polerowanie powierzchni na tkaninie poliuretanowej w wodnej zawieszynie CeO_2	kształt powierzchni tarczy naklejniczej (par. 2,3,4,7,9)

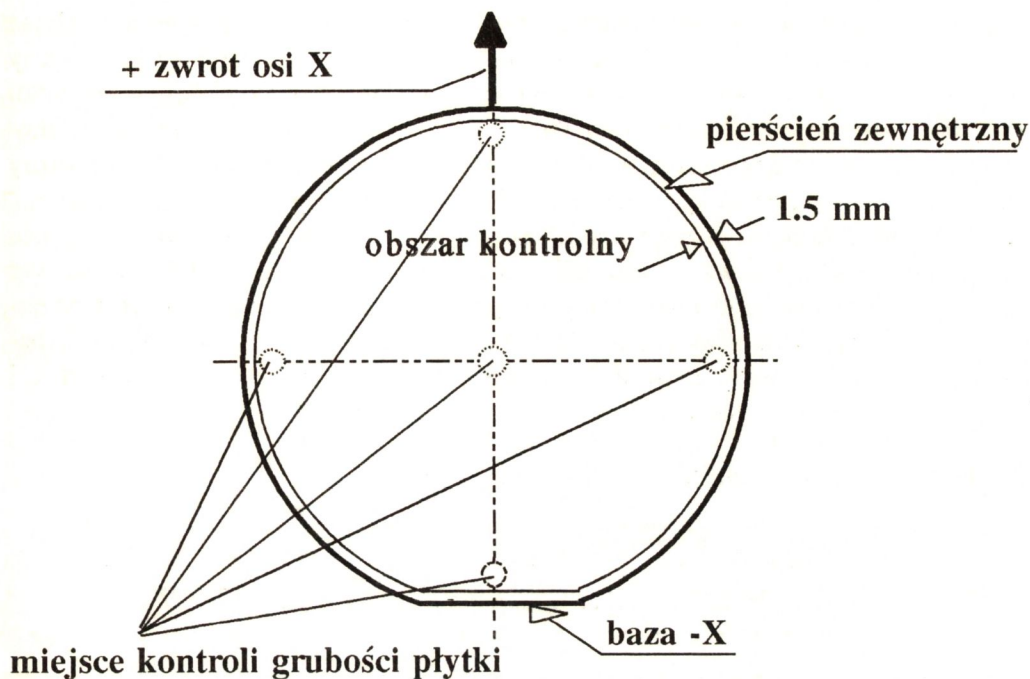
14	odklejanie płytek	odklejanie metodą termiczną (zimną)	brak
15	mycie wstępne i trawienie płytek	ciepłe mycie w kwasach i rozpuszczalnikach organicznych	(par. czystość powierzchni płytek)
16	końcowa kontrola grubości, klinowatości i krzywizny płytek	pomiary za pomocą mikromierza i czujnika mikrometrycznego ($\pm 1, \mu\text{m}$)	dokładność stanowisk pomiarowych (par. 2,3,4)
17	mycie końcowe płytek	mycie w automacie w wodnych roztworach detergentowych	(par. czystość powierzchni płytek)
18	kontrola mikroskopowa stanu powierzchni płytek	obserwacja powierzchni polerowanej płytek za pomocą mikroskopu optycznego i przy 120-o krotnym powiększeniu pola obserwacji.	klasa mikroskopu (par. 9,10)
19	pakowanie płytek	pakowanie po 25 sztuk płytek w pojemniki propylenowe	brak

Na podstawie przeprowadzonej oceny jakości 300 sztuk płytek opracowano warunki techniczne, które spełniało około 70% wyciętych podłoży. Listę kontrolowanych wielkości oraz przyjęte dla nich tolerancje zawiera tabela 3.

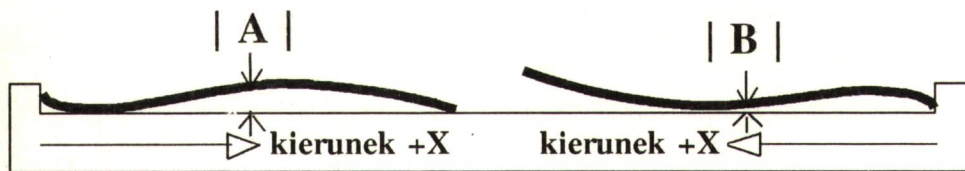
Tabela 3. Parametry 3" bezzarodziowych podłoży dla AFP.

No	PARAMETR	JEDNOSTKA	WARTOŚĆ
1	ŚREDNICA	mm	76.2+/-0.3
2	GRUBOŚĆ	mm	0.5+/-0.05
3	KLIN	µm max	20
4	WYGIĘCIE	µm max	40
5	ORIENTACJA STRONY CZYNNEJ	minuty max.	(ST÷AT) +/-30
6	ORIENTACJA BAZY	minuty max.	-X +/-30
7	CHROPOWATOŚĆ POW. CZYNNEJ	nm nominalna	5
8	CHROPOWATOŚĆ POW. BIERNEJ	nm nominalna	200
9	RYSY W OBSZARZE KONTROLNYM	mm , długość całkowita	10
10	JAMKI (do 0.2 mm) W OBSZARZE KONTROLNYM	liczba	3
11	WYKRUSZENIA (do 0.5 mm) KRAWĘDZI PŁYTKI	mm, długość całkowita	5
12	MINIMALNA DOBROĆ	bez miana	1.8 miliona
13	BLIŹNIAKI, PĘKNIĘCIA	liczba	brak
14	GĘSTOŚĆ WTRĄCEŃ	cm ⁻³ , średnia	3

Obszar kontrolny płytki pokrywa się z kolistym fragmentem polerowanej strony podłoża ograniczonym pierścieniem przykrawędziowym o szerokości 1.5 mm (rys. 11). **Klin płytki** odpowiada maksymalnej różnicy jej grubości mierzonej mikrometrem w pięciu miejscach pokazanych również na rys. 11. **Wygięcie płytki** jest utożsamiane z większą z dwóch odległości oddalenia punktu środkowego strony polerowanej lub szlifowanej podłoża od poziomej płaszczyzny podparcia po odjęciu grubości krążka. Dokładnie ilustruje to rys. 12. Ponieważ w czasie pomiaru płytka jest lekko dociskana przez ramię czujnika mikrometru, uzyskiwana wartość wygięcia jest nieco



Rys. 11. Obszar kontrolny i miejsca pomiaru grubości płytki.



$[A] > [B]$, $d =$ grubość płytki w środku , $\text{wygięcie} = [A] - d$

Rys. 12. Zasada pomiaru podczas wyznaczania wygięcia płytki.

zaniżona w stosunku do wartości realnej ocenianej metodą bezkontaktową. Analizując nieco szerzej krzywiznę płytki należy zauważyć, że jest ona efektem działania dwóch mechanizmów: zwichrowania (warp) powierzchni płytki powstającego w czasie jej wykroju oraz wygięcia (bow) spowodowanego przez naprężenia pochodzące od różnie uszkodzonych warstw strony szlifowanej i polerowanej podłoża. Zwichrowana płytka rozpląszcza się sprężystością pod naciskiem tarcz szlifierskich i w konsekwencji proces ścieniania podłoża nie usuwa "sfałowania" postaci obrabianego ele-

mentu [23]. Po usunięciu nacisku tarcz, naprężenia elastyczne, skumulowane w płycie ponownie przywracają jej zwichrowany wygląd. Podobny scenariusz zmian dotyczy procesów naklejania, polerowania i odklejania krążka. Jednak w tym przypadku następuje jednostronne usunięcie warstwy przypowierzchniowej (poszlifierskiej) uszkodzonego kwarcu. W konsekwencji, po obu stronach płytki występuje nierównoważny rozkład naprężeń, który przyczynia się do dodatkowego wygięcia całego elementu.

W celu dokonania oceny klasy jakości płytek wykonanych w ITME, zestawiono w tabeli 4 dane zawarte w specyfikacjach podłoży firm amerykańskich (Sawyer [11] i P.R. Hoffman [12]) oraz wymagania podawane przez odbiorcę takich elementów; renomowaną firmę francuską THOMSON MICROSONICS [24]. W obu tabelach: 3 i 4 zachowano zgodność numeracji poszczególnych parametrów płytek i odpowiadających im jednostek.

Tabela 4. Specyfikacja parametrów płytek zagranicznych.

N o	SAWYER R.P (katalog)	P.R.HOFFMAN (katalog)	THOMSON (wymagania)
1	76.2±0.1	76.2±0.25	76.2±0.1
2	0.56±0.01	0.56±0.05	0.56±0.05
3	4.0	8.0	10
4	40	50	50
5	±10	±30	±15
6	± 6	nie podana	±15
7	0.6	nie podana	nie podana
8	200	nie podana	200 < <2000
9	10	nie podana	2 rysy (długość ?)
10	2	nie podana	2
11	(<0.5) bez ograniczeń	(<0.7) bez ograniczeń	(<0.5) do 5mm
12	1.8	1.0	1.8
13	niedozwolone	niedozwolone	niedozwolone
14	12	nie podana	12

Pobieżna ocena przytoczonych danych potwierdza wysoką jakość płytek Sawyera oraz słabsze wymagania pozostałych firm. Płytki ITME mają zbliżone parametry do podłoży firmy P.R Hoffmana. Wydaje się, że z punktu wagi i znaczenia poszczególnych wielkości należy dążyć do dalszego ograniczenia klinowości płytek ITME.

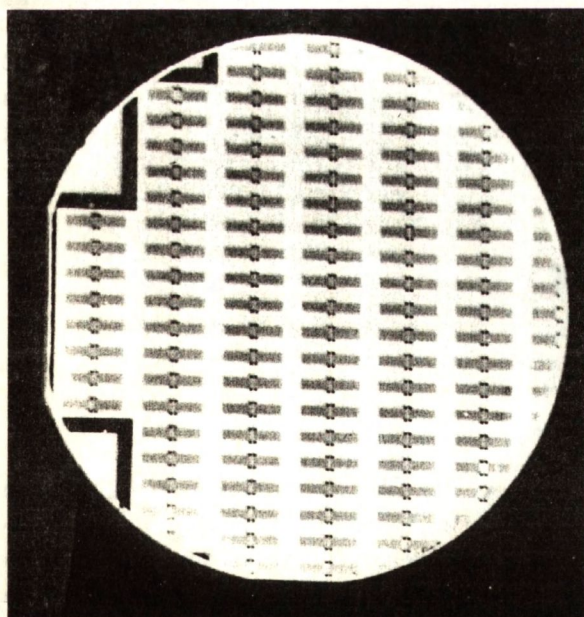
Prawdopodobnie, parametr ten będzie można jeszcze poprawić obniżając go do 15 μm . Niestety, poniżej tej granicy utrzymanie 70% uzysku płytek w toku produkcji masowej jest mało realne. Główną przeszkodę stanowi konstrukcja i wadliwe funkcjonowanie posiadanej maszyny polskiej.

Bardziej pomyślnie można rokować, co do zmniejszenia dezorientacji krystalograficznej płytek. Błąd dezorientacji powstaje w czasie szlifowania i klejenia kryształów w stos oraz ustawiania sklejonego pakietu na stoliku piły taśmowej (tabela 2). Wydaje się, że metodą kolejnych prób i dalszej poprawy praktyki uda się zoptymalizować powyższe czynności technologiczne i obniżyć obie dezorientacje do 15' zachowując wysokie uzyski płytek.

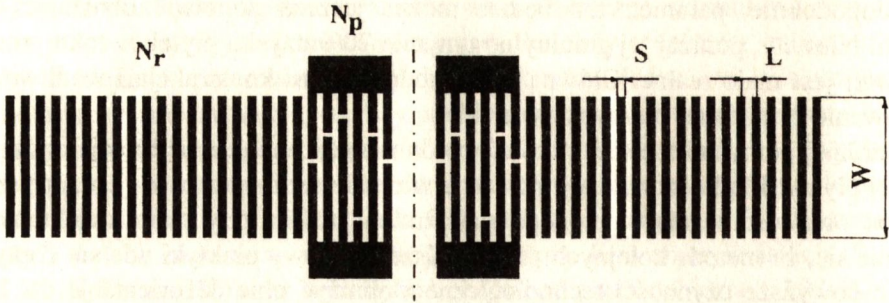
4. 300 MHZ REZONATOR AFP

W aplikacyjnej części pracy podjęto próbę skorelowania rozkładów dobroci materiałowej Q , pokazanych na rysunkach 3 i 4, z rzeczywistą dobrocią rezonatorów z AFP wytworzonych na przebadanej płytce. Podobne badania, ale dotyczące rozrzutów częstotliwości rezonatorów wykonanych na kwarcu pochodzącym z różnych sektorów wzrostu kryształu wykonali Bulst i Willibald w roku 1982 [8].

W pracy własnej techniką fotolitografii odwrotnej naniesiono na podłoże strukturę złożoną z 90 sztuk rezonatorów czwórnikowych z AFP. Kompletny obraz takiej struktury przedstawia zdjęcie rys. 13. Układ elektrod rezonatora pokazano na rys. 14, natomiast jego parametry podano w tabeli 5.



Rys. 13. Struktura płytki z rezonatorami z AFP.



Rys. 14. Zaprojektowany układ elektrod dla rezonatorów z AFP o częstotliwości znamionowej 300 MHz.

Tabela 5. Parametry 300 MHz rezonatora z AFP.

Liczba elektrod przetwornika N_p	91
Liczba elektrod reflektora N_r	600
Szerokość elektrod S	2.6 μm
Okres elektrod L	5.2 μm
Apertura W	1000 μm
Średnia grubość warstwy aluminium	0.15 μm

Typowy wygląd charakterystyki amplitudowej rezonatora, zmierzony w 50 Ω układzie pomiarowym, ilustruje rysunek 15. Do szczegółowych pomiarów wybrano elementy ułożone wzdłuż obszarów, dla których wykonano pomiary absorpcji. Dla każdego modułu wyznaczono częstotliwość rezonansową f_r (ok. 300 MHz) oraz zakres częstotliwości $\Delta f_{3\text{dB}}$ odpowiadające pasmu 3 dB.

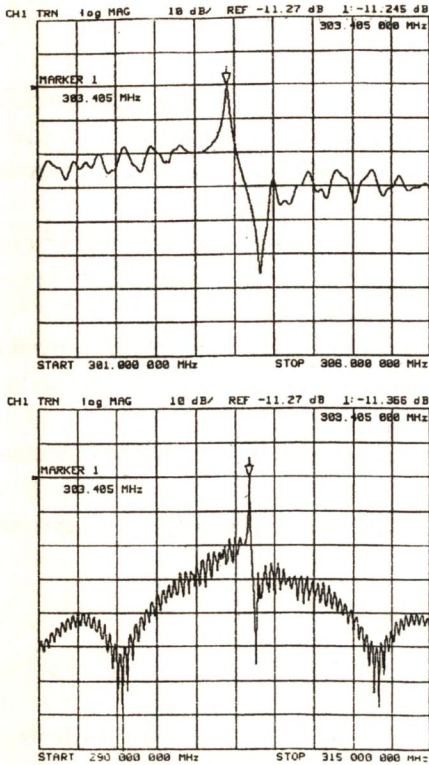
Dobroć liczono wg wzoru:

$$Q_L = f_r / \Delta f_{3\text{dB}},$$

natomiast względne odchylenie częstotliwości

$$\Delta f_r = (f_r - f_a) / f_a$$

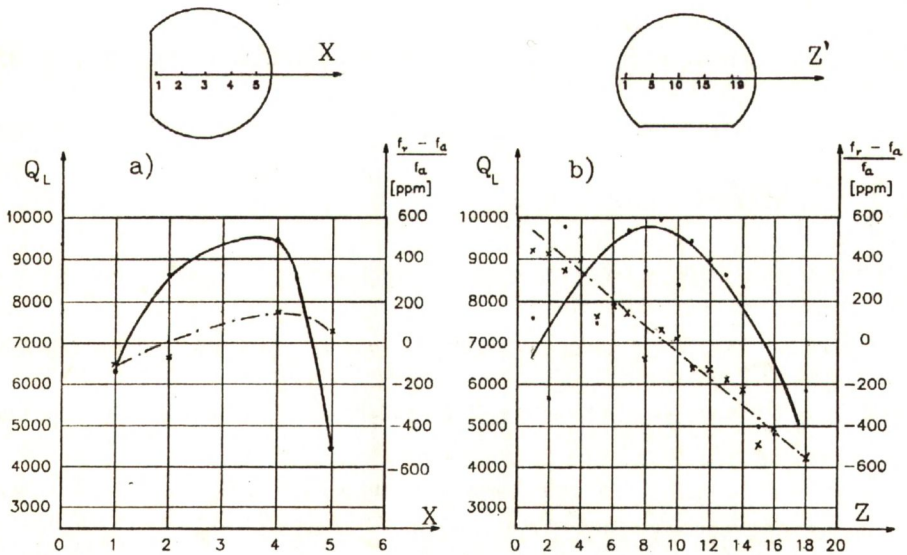
odnoszono do wartości średniej f_a wyznaczonej ze wszystkich pomiarów. Otrzymane krzywe pokazano na rys.16. Wynik ten dowodzi, że objętościowe własności materiału podłożowego nie mają istotnego wpływu na charakterystykę pracy rezonatora z AFP. Pierwszoplanową rolę odgrywają tu zapewne jakość powierzchni podłoża



oraz parametry nałożonej warstwy aluminium. Nie można wykluczyć, również wpływu subtelnych różnic w budowie indywidualnych modułów (różnice w grubości i szerokości elektrod, kształtu ich krawędzi, itp.). Spadek dobroci Q_L rezonatorów w miarę oddalania się od środka płytki może wynikać z gorszej jakości podłoża w tych miejscach, natomiast charakter odchylenia częstotliwości Δf_r spowodowany jest nierównomierną grubością warstwy aluminium na podłożu.

W przypadku rezonatorów obciążonych, otrzymano wartości dobroci od 5000 do 10000, co odpowiada typowym wymaganiom dla tego typu podzespołów. Wynik ten potwierdza pełną przydatność wytworzonego materiału do potrzeb technologii AFP.

Rys. 15. Typowa charakterystyka amplitudowa wykonanego rezonatora AFP.



Rys. 16. Zmiany dobroci Q_L oraz odchylenie Δf_r częstotliwości rezonansowej f_r rezonatora w funkcji jego położenia wzdłuż osi X i Z' (Q_L - linia ciągła, Δf_r - linia przerywana).

PODSUMOWANIE

- a W zakresie własności materiałowych zarejestrowano efekt modulacji absorpcji promieniowania IR wzdłuż biegunowej osi struktury kryształu, wywołany prawdopodobnie nierównolicznym lokowaniem się wodoru w obszarach centralnych i granicznych komórek wzrostu, stowarzyszonych ze ścianą Z.
- b Opracowano techniczne warunki wykonania kryształów kwarcu o nowej orientacji, umożliwiające otrzymanie 3" bezzarodziowych podłoży ST÷ AT do przyrządów z AFP.
- c Wykonano partię prototypową płytek podłożowych z AFP i określono warunki techniczne, które powinny spełniać. Porównano parametry otrzymanych podłoży z parametrami podłoży zagranicznych.
- d Zaprojektowano i wytworzono partię rezonatorów 300 MHz o prawidłowych charakterystykach pracy.
- e Nie stwierdzono wpływu zmian dobroci materiałowej podłoża kwarcowego na dobroć elektryczną rezonatora AFP.

PODZIĘKOWANIA

Autorzy pracy pragną podziękować pani Krystynie Mazur za wykonanie topogramów rentgenowskich oraz paniom Marii Gładysz i Stanisławie Strzeleckiej za pomiary absorpcji próbek w podczerwieni.

Powyższa praca była finansowana przez Komitet Badań Naukowych w ramach grantu Nr 85501 051 04.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Whatmore R.W.: New polar materials: their application to SAW and other devices. *J.Cryst.Growth*, 48, 1980, 530-547
- [2] Surface Acoustic Wave Components for Professional Telecommunications Engineering, Siemens 12/1985, folder
- [3] Quartz SAW Resonators 150 Mhz to 1500 Mhz, RF Monolithics Inc. 10/1984, folder
- [4] Sawyer Research Products Inc, Company profile, 2/1993
- [5] Armington A.R., Bruce J.A., Halliburton L.E., Markes M.: Defects induced by seed orientation during quartz growth. *J.Cryst.Growth*, 49, 1980, 739-742
- [6] Bahadur M., Agnihotry S.A., Gupta S.K.: Infra-red and EPR investigations of Y bar and +5°X seed growth crystals. *J.Cryst.Growth*, 53, 1981, 469-474
- [7] General SAW Specifications, P.R.Hoffman Products 1983, specyfikacja

- [8] Bulst W.E., Williband E.: Ultrareproducible SAW resonator production Proc.36 Ann. Frequency Cont. Symposium 1982, 442-452
- [9] Semi-finished Quartz Crystal Blanks and Substrates, P.R.Hoffman Materials Processing 1986, folder
- [10] Laudise R.A., Barns R.L., Stevens D.S., Simpson E.E., Brown H.: High performance quartz. 42-nd Ann Frequency Cont.Symposium, 1988, 116-126
- [11] Surface Acoustic Wave Substrates - Quartz Sawyer Research Products 10/1993, specyfikacja
- [12] Single Crystal Quartz Surface Acoustic Wave Wafers, P.R.Hoffman Mat. Proc. Corporation 1990, specyfikacja
- [13] Seed free SAW Substrates, P.R.Hoffman Mat. Proc. Corporation 5/1994, folder
- [14] Projekt celowy KBN Nr 8 8026 93C/1092. Monokrystaliczny kwarc wysokiej jakości do przyrządów z objętościową i powierzchniową falą akustyczną
- [15] W.Hofman, T.W.Wróbel, W.Soluch, "Technology of ST Quartz substrates for SAW resonators" 8-th Piezo Confer., Zakopane 10/1994, Poland, Proceedings 1995, 23-36
- [16] Aines D., Kirby S.K., Rossman G.R.: Hydrogen speciation in synthetic quartz. Phys. Chem. Minerals 11, 1984, 204-212
- [17] Kats A.: Hydrogen in Alpha quartz. Philips Res.Reports, 17, 1962, 133-195, 201-279
- [18] Dodl D.M., Fraser D.B., The 3000-3900 cm^{-1} absorption bands and anelasticity in crystalline α - Quartz. J.Phys.Chem.Solids 26, 1965, 673-686
- [19] Chakraborty D., Lehman G., Distribution of OH in synthetic and natural quartz crystals. J.Solid State Chem 17, 1976, 305-311
- [20] Lang A.R., Muscov V.F.: Dislocations and fault surfaces in synthetic quartz. J.Appl.Phys. 38, 1967, 2477-2483
- [21] Hofman W.: Badanie wpływu warunków brzegowych pola temperatur autoklawu na prędkość wzrostu monokryształów kwarcu. 1-56, Projekt badawczy KBN Nr 77316 9203
- [22] Chakraborty D.: Dependence of mechanical Q on growth rate of quartz single crystals. J.Cryst.Growth 41, 1977, 177-180
- [23] Piątkowski B.: ITME, informacja prywatna
- [24] Thomson Micronics, Specyfikacja nr 59-891-229, 12 June 1993.

SUMMARY

TECHNOLOGY OF QUARTZ SUBSTRATES FOR SAW RESONATORS AND FILTERS

The paper shows the results of technological work as well as quality and application assessment of SAW substrates made of Y-type (basal growth) and R-type (rhombohedral growth) quartz single crystals. The former bar allows for a cut-off 2 1/4" wafers, whereas the latter makes possible to manufacture 3" seed free AT or ST substrates. Initial comparison of production costs favors 3" plates, however one should wait with a final conclusion to the end of application trials. In the case of 2 1/4" substrates, their good quality has been confirmed by 300 MHz SAW resonators which have passed the qualification tests.

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНОЛОГИЯ ПОДЛОЖЕК ДЛЯ РЕЗОНАТОРОВ И ФИЛЬТРОВ С АКУСТИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТНОЙ ВОЛНОЙ

Статья представляет результаты технологической работы с качественной и апликационной оценкой подложек с акустической поверхностной волной (АПВ) изготовленных из монокристаллов кварца типа Y и R. Первый кристалл допускает получение 2 1/4", а второй 3" не затравленных пластинок АПВ с ориентацией AT или ST. Сделанное вступительное сравнение расходов при продукции подложек, показало прибыльность производства 3" пластинок. Однако, для окончательной оценки прибыльности необходимо дождаться конца прикладных исследований. Изготовление пробной партии резонаторов с АПВ подтвердил хорошее качество подложки 2 1/4".