

ОСОБЕННОСТИ РЕЗКИ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ СЛИТКОВ КРЕМНИЯ НА ПЛАСТИНЫ

*Физико-технический институт Национальной Академии Наук
Минск, Беларусь*

Операции обработки поверхности пластин стоят в начале маршрута изготовления БИС и определяют воспроизводимость параметров, надежность и процент выхода годных кристаллов. Особенно важно достижение минимального прогиба пластин на операции резки слитков, так как при наличии начального прогиба возрастает вероятность его увеличения при последующем формировании многослойных структур БИС.

Технологические процессы резки монокристаллических слитков на пластины основаны на закономерностях поведения поликристаллических материалов, механические свойства которых изотропны. Особенностью монокристаллов является наличие анизотропии механических свойств. Однако при разработке технологии обработки монокристаллов учет кристаллографических факторов ограничен ввиду отсутствия сведений о закономерностях их влияния на прогиб и дефектность пластин [1].

Целью настоящей работы является оптимизация режимов резки монокристаллических слитков кремния ориентации (001) на пластины.

В соответствии со стандартным технологическим процессом базовый срез слитка с ориентацией (001), выполненный по плоскости (110), устанавливают параллельно или перпендикулярно плоскости оправки, на которую приклеивают слиток при разделении его на пластины. Схема такого процесса резки слитка по плоскости (001) алмазным кругом с внутренней режущей кромкой (АВРК) приведена на рис. 1. Направление абразивного воздействия при этом близко к $[110]$, а направление перемещения инструмента относительно слитка близко к $[1\bar{1}0]$.

Для достижения поставленной цели было проведено несколько серий экспериментов, с помощью которых удалось выявить ряд особенностей процесса резки слитка кольцевым инструментом.

Во-первых, из четырех возможных положений базового среза при разделении слитка по плоскости (001) (точки А, В, С и Д на рис. 1) лучшие результаты по сколам и микровыколам (3,3 % брака) были получены при расположении базового среза в точке С. При размещении базового среза в точках А, В и Д брак составил 3,6; 4,4; и 4,2 %, соответственно.

Во-вторых, при постоянном кристаллографическом направлении абразивного воздействия не удается одновременно устранить образование сколов во время вре-

зания и выхода инструмента из тела слитка и обеспечить высокое качество отрезаемых пластин. Это связано с тем, что при выгодном с точки зрения обеспечения высокого качества пластин направлении абразивного воздействия вдоль $\langle 110 \rangle$ высока вероятность образования сколов при врезании и при выходе инструмента. А при абразивном воздействии вдоль направления $\langle 100 \rangle$ наиболее затруднен процесс резания [2].

В-третьих, процесс резки слитка круглого сечения кольцевым инструментом существенно изменяется при установке оси слитка со смещением относительно траектории перемещения оси инструмента. В результате при постоянном направлении подачи вдоль определенного кристаллографического направления слитка в широких пределах изменяется в процессе резания направление абразивного воздействия, что увеличивает количество возможных вариантов резки.

И, в-четвертых, длина дуги контакта режущей кромки со слитком в процессе резки непостоянна и проходит через максимум в момент, когда она опирается на диаметр поперечного сечения слитка. Резание слитка при этом максимально затруднено.

С учетом отмеченных особенностей были исследованы новые варианты резки слитков по плоскости (001), схема одного из которых представлена на рис. 2. Слиток смещен по отношению к траектории движения центра режущего круга по горизонтали на расстояние OO_1 . Базовый срез слитка наклонен на угол α к горизонтальной плоскости и расположен в нижнем правом квадранте. Режущая кромка врезается в слиток в окрестности точки O' , направление абразивного воздействия в которой близко к направлению $\langle 100 \rangle$. При выходе инструмента из слитка направление абразивного воздействия также близко к направлению $\langle 100 \rangle$.

При максимальной длине дуги контакта режущей кромки со слитком (дуга $2'$) направление абразивного воздействия в центральном её участке близко к направлению $\langle 110 \rangle$. Положения оси режущего инструмента через равные промежутки времени обозначены буквой O_i и цифрами 1, 2 ... 8, а положения соответствующих им дуг контакта – $O', 1', 2' \dots 8'$. Направление абразивного воздействия в приведенном варианте изменяется от близкого к вертикальному во время врезания инструмента (дуга контакта O') до близкого к горизонтальному при выходе из слитка (дуга контакта $8'$). Направления вращения (ω) и подачи инструмента путем поворота кулисы вокруг центра O_2 (φ) указаны стрелками.

При смещении слитка от траектории перемещения оси вращения инструмента направление абразивного воздействия и скорость врезания (подачи) инструмента в слиток в процессе резки изменяются. При расположении базового среза в нижнем правом квадранте под углом $\alpha = 40-50^\circ$ к горизонтальной плоскости в начале и в конце резания абразивное воздействие осуществляется по направлению, близкому к $\langle 100 \rangle$, что предотвращает образование трещин и повышает процент выхода годных пластин. Кроме того, скорость врезания инструмента в слиток в этом случае значительно мень-

ше скорости подачи инструмента, поскольку угол между направлением подачи инструмента и направлением абразивного воздействия инструмента в этот период значительно меньше 90° . Это также способствует снижению образования трещин и повышает качество пластин. Резание слитка наиболее затруднено в момент, когда дуга контакта режущей кромки опирается на диаметр поперечного сечения слитка. Глубина врезания инструмента в слиток t в этот момент определяется выражением:

$$t = R_c + \sqrt{R_u^2 - R_c^2} - R_u, \quad (1)$$

где R_c , R_u – радиусы слитка и инструмента.

В рассматриваемом варианте направление абразивного воздействия инструмента на этом этапе становится близким к направлению $\langle 110 \rangle$, а угол между направлениями подачи и абразивного воздействия составляет порядка 60° , что приводит к облегчению процесса резания и обеспечивает получение пластин с малой величиной прогиба. По мере приближения режущей кромки инструмента к месту приклейки слитка к оправке направление абразивного воздействия опять приближается к направлению $\langle 100 \rangle$, что снижает вероятность образования сколов и повышает выход годных пластин.

Из 4-х возможных положений базового среза наилучшие результаты по качеству пластин были получены в случае, когда базовый срез был расположен в нижнем правом квадранте. При расположении базового среза в верхнем правом квадранте, вследствие неустановившегося режима при врезании в этом месте инструмента, наблюдалось снижение выхода годных пластин из-за микросколов в области базового среза. При расположении базового среза в левых квадрантах абразивные зерна инструмента, вращающегося против часовой стрелки, при выходе из слитка вызывают возникновение растягивающих напряжений, что приводит к снижению выхода годных пластин из-за сколов в области базового среза.

Смещение слитка вправо к центру поворота кулисы оказалось более предпочтительным, поскольку в этом случае действующие на алмазный круг силы резания выбирают все зазоры в системе СПИД, обеспечивая тем самым более стабильное положение алмазного круга и высокое качество пластин.

С учетом полученных результатов были проведены исследования влияния угла наклона базового среза α и величины смещения слитка от траектории перемещения оси режущего круга на качество и процент выхода годных пластин. Резку слитков кремния марок КДБ-12 (001) и КЭФ-4,5 (001) $\varnothing 100$ мм осуществляли по схеме, приведенной на рис. 2. Угол наклона базового среза к горизонтальной плоскости изменяли в пределах от 30° до 90° . Траектория центра вращения инструмента проходила через ось слитка, а также со смещением в горизонтальной плоскости вправо. При использовании отрезных кругов марки АВРК $422 \times 152 \times 0,3$ величина смещения дос-

тигала 25 мм. Скорость вращения инструмента составляла 2000 об/мин. Толщина отрезаемых пластин составляла 600 ± 20 мкм. Измерение прогиба пластин проводили на установке ЩЦМЗ.445.007.

Результаты исследований влияния угла наклона базового среза α и величины смещения слитка на выход пластин с прогибом до 20 мкм и на процент брака по прогибу и сколам представлены в табл. 1. При установке слитков с наклоном базового среза в пределах от 40° до 50° и смещении их на расстояние от 12 до 25 мм выход пластин с прогибом до 20 мкм возрастает по сравнению со стандартным процессом резки с 65 до 85–90%. Брак пластин по прогибу снижается с 3,8 до 2,1%, а при оптимальных условиях резки ($\alpha = 45^\circ$, $OO_1 = 17$ мм) – до 0,4%. Брак по сколам и микровыколам снижается с 3,3 до 1,85–2,5%.

Таким образом, учет кристаллографических факторов при резке слитков монокристаллического кремния привел к значительному снижению прогиба и к увеличению процента выхода годных пластин.

Таблица 1

Влияние условий резки на процент выхода пластин ориентации (001)

Угол наклона базового среза $\alpha,^\circ$	Смещение слитка OO_1 , мм	Выход пластин с прогибом $f \leq 20$ мкм, %	Брак пластин, %	
			по прогибу $f > 40$ мкм	по сколам и микровыколам
30	0	61,8	3,6	3,2
30	5	66,1	4,1	3,0
30	12	68,0	4,2	3,1
40	0	78,5	2,4	2,6
40	15	85,4	1,6	2,4
40	20	89,1	1,7	2,3
40	25	88,7	2,1	2,5
45	0	80,1	2,9	2,4
45	12	89,5	0,6	1,85
45	17	90,1	0,4	1,95
45	20	89,7	1,2	2,0
45	25	89,2	1,1	2,5
50	8	87,4	2,5	2,2
50	15	87,9	1,7	2,3
50	20	87,3	1,4	2,1
50	25	88,8	2,1	2,5
90	0	64,9	3,8	3,3

ЛИТЕРАТУРА

1. Бочкин О.И. и др. Механическая обработка полупроводниковых материалов. М.: Высш. шк. 1973, – 106 с.
2. Обработка полупроводниковых материалов/ Карбань В.И., Кой П., Рогов В.В., Хофман Х. и др.: Под. Ред. Новикова Н.В., Бертольди В. – Киев: Наук. думка. 1982. – 256 с.