

УДК 621.923.74

Двусторонняя абразивная доводка подложек с учетом износа притиров

А.С. Чижов

Рассмотрены вопросы, связанные с точностью обработки и качеством поверхности подложек из монокристаллов для интегральных микросхем при двусторонней абразивной обработке. Учтены износ инструмента и упругое контактирование поверхностей. Приведены расчетные формулы для ограничения эксцентриситета приложения нагрузки на детали, изменения давления в зоне обработки и распределения износа на поверхности инструмента. Обоснованы два варианта износа притиров с разной длительностью между правками рабочих поверхностей.

Ключевые слова: двусторонняя доводка, монокристаллическая подложка, упругая деформация, абразивная обработка, износ инструмента, кассета, правка притиров.

The problems connected with the accuracy of processing and the quality of the surface of monocrystals wafers for integrated microcircuits at two-sided abrasive lapping are considered. Both the wear of laps and the elastic contact of surfaces are taken into account. The formulas to calculate the restriction of the load application eccentricity on a part, changes of pressure in the processing region and the wear distribution on tool surfaces are provided. Two wear options of laps having different duration between working surfaces dressing are proved.

Keywords: two-sided lapping, monocrystal wafer, elastic deformation, abrasive treatment, tool wear, holder, laps dressing.

Подложки из монокристаллов кремния, лейкосапфира и арсенида галлия для интегральных микросхем имеют довольно высокую твердость (8 и более единиц по шкале Мооса) при значительной хрупкости. К ним предъявляются жесткие требования по разнотолщинности ($TTV \leq 10$ мкм), прогибу ($bow \leq 30$ мкм), короблению ($w_{\text{гар}} \leq 30$ мкм) и местной погрешности формы ($STIR \leq 4$ мкм) [1]. При толщине подложки $h = 0,25 \dots 0,55$ мм с точностью ($\delta h \pm 0,01$) мм перечисленные выше требования могут быть достигнуты одновременной двусторонней абразивной обработкой на доводочном станке.

В этом случае детали 1 размещают в гнездах кассеты 2 из тонкого листа, например, ПЭТ-пленки, где они могут свободно поворачиваться в обе стороны (рис. 1). Привод станка 3 перемещает кассету по рабочим плоскостям двух соосных притиров в форме колец, нижний 4 из которых обычно неподвижен, а верхний 5 вращается. Ось кассеты располагают эксцентрично по отношению к оси притиров для более равномерного износа рабочей поверхности последних. Обработку осу-



ЧИЖОВ
Александр Семенович
доктор технических наук,
профессор
кафедры «Технологии
приборостроения»
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

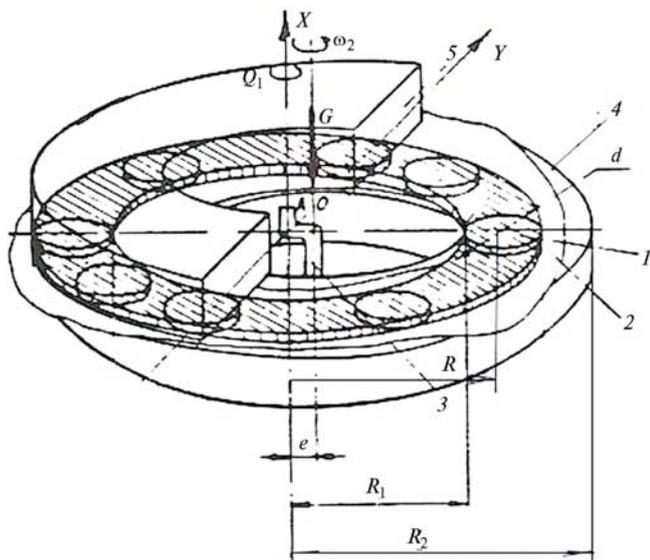


Рис. 1. Схема двусторонней обработки деталей при эксцентричной нагрузке

ществляют свободным абразивом, который подают в составе суспензии.

Высокая твердость материала вынуждает прикладывать значительную вертикальную нагрузку G , а это, в свою очередь, — учитывать возможную упругую деформацию деталей, возникающую в зоне контакта с инструментом через абразивную прослойку. Опасность такой деформации повышается вследствие неравномерного износа рабочих поверхностей притиров при последовательной обработке нескольких закладок деталей. Условия изнашивания рабочих поверхностей верхнего и нижнего притиров неодинаковы, в результате чего первый из них через детали постепенно прирабатывается ко второму [2]. Накапливающаяся неравномерность износа этих поверхностей способствует нарушению жесткого контакта с деталями, что и приводит к возникновению упругих деформации, а те — к возможному образованию трещин в хрупком материале и его разрушению.

Приведенная в работе [3] модель упругого контактирования поверхностей при обработке свободным абразивом рассматривала равномерный износ инструмента, что справедливо для узкого кольца, когда часть каждой детали периодически выходит за его края (рис. 2). Такой инструмент используют при однорядной

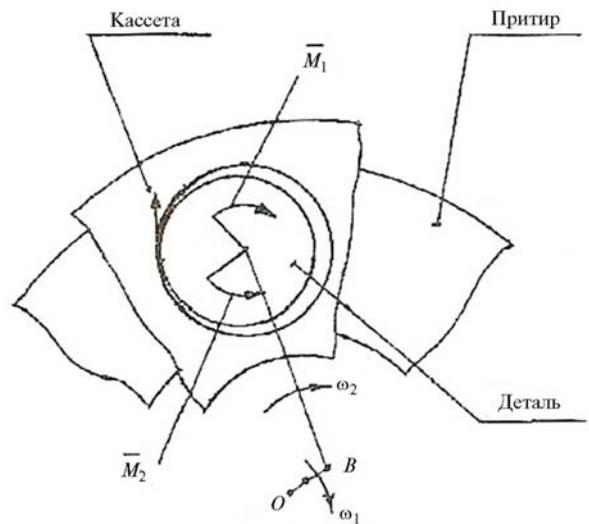


Рис. 2. Узкое кольцо притира при обработке деталей большого диаметра

укладке круглых пластин диаметром 80 мм и выше. При этом вращение кассеты вокруг своей оси с частотой ω_2 носит переносный характер движения, поэтому обычно считают, что

$$\omega_2 \ll \omega_1. \tag{1}$$

Более мелкие детали размещают в кассете в несколько рядов, кольцо притира приходится делать шире, что приводит к его неравномерному износу. Такая схема обработки используется гораздо чаще. Однако при этом необходимо периодически править притиры для восстановления плоскостности их рабочих поверхностей, отклонение от которой, как показывает практика, не должно превышать 10...15 мкм (рис. 3). С помощью этой процедуры можно ограничить значения величины δh деталей и исключить опасность их разрушения при обработке, но представляет собой подготовительно-заключительную составляющую нормы времени на операцию, сокращая производительность.

При эксцентричном расположении осей вращения кассеты и соосных притиров давление p в любой точке, определяемой радиусом R и углом φ на плоской поверхности инструмента (сразу после правки) может быть описано следующим выражением [3]:

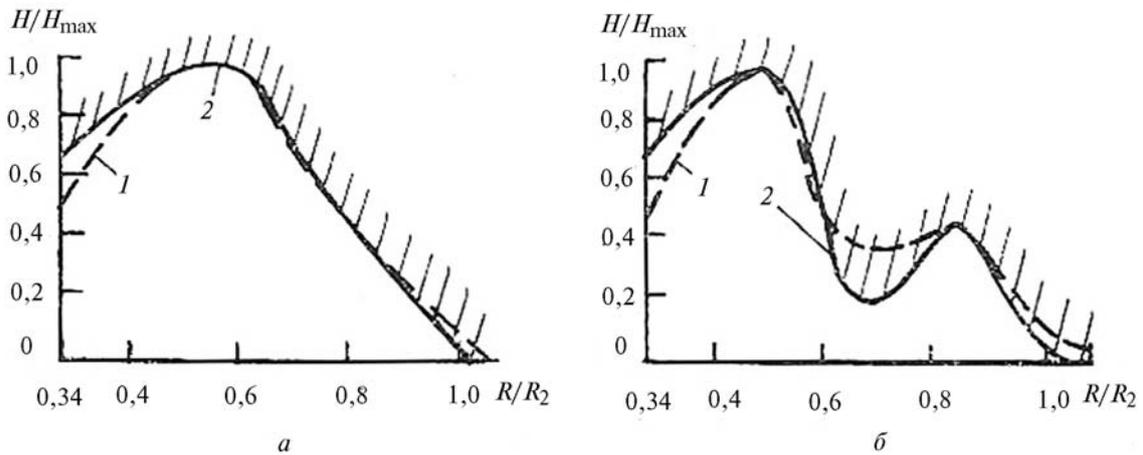


Рис. 3. Отклонения от плоскостности H рабочих поверхностей нижнего притира в радиальном сечении вследствие износа для двух наладок станка:
 а — $d_{\text{дет}}/e = 2,0$; б — $d_{\text{дет}}/e = 3,2$; 1 — расчетная кривая; 2 — экспериментальная кривая

$$p(R, \varphi) = \frac{G}{\pi(B+R)} \times \left[\frac{1}{2(R_2 - R_1) - 2B \ln \frac{B+R_2}{B+R_1}} + \frac{eR \cos \varphi}{\frac{R_2^3 - R_1^3}{3} - \frac{B}{2}(R_2^2 - R_1^2) + B^2 \ln \frac{B+R_2}{B+R_1}} \right] \quad (2)$$

где R_1, R_2 — внутренний и наружный радиусы кольца притира, мм; B — параметр, определяющий соотношение между упругой деформацией и износом при данных условиях обработки, мм; e — смещение оси притиров относительно оси кассеты с деталями, мм; G — прикладываемая нагрузка, кг.

Величину эксцентриситета следует ограничить согласно следующему неравенству:

$$e < \frac{B^2}{2R_2} + \frac{R_2^2 - R_1^2 - 1,5(R_2^2 - R_1^2)}{6R_2 \left(R_2 - R_1 - B \ln \frac{B+R_2}{B+R_1} \right)} \quad (3)$$

Как следует из неравенства (3), это ограничение не зависит от нагрузки G , а определяется размерами притиров и параметром B . Изме-

ние допустимой величины эксцентриситета приведено на рис. 4 из которого следует, что чем жестче контакт, тем и ограничение эксцентриситета жестче. Наоборот, с появлением упругой деформации величина эксцентриситета может быть увеличена.

Величина δh для деталей из одной кассеты изменяется от закладки к закладке, что вызвано рядом погрешностей, случайных и систематических. Среди последних наиболее существенно значение этой величины до начала операции и состояние рабочей поверхности притиров. Влияние второй из них сказывается наиболее ощутимо в начальный период после правки притиров (начальный износ) и после обработки нескольких закладок деталей (интенсивный износ). В промежуточный период времени (нормального износа) величина δh

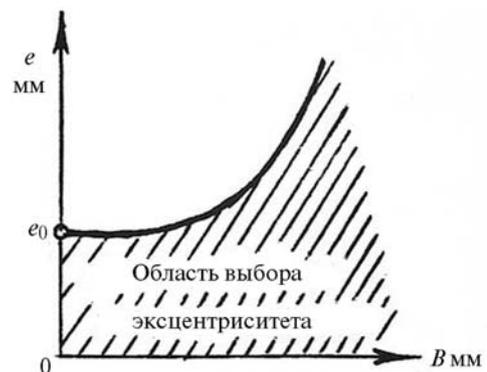


Рис. 4. Область выбора эксцентриситета приложения нагрузки

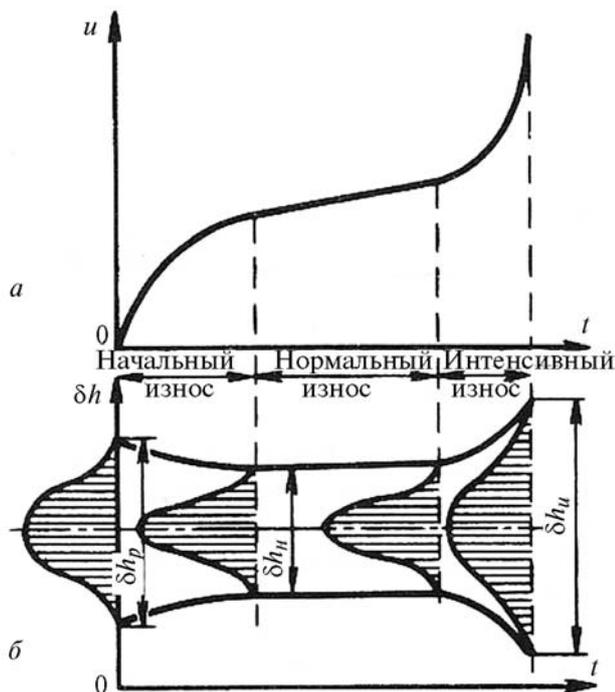


Рис. 5. Изменение точности обработки по мере износа притиров:

а — три стадии износа притиров; б — величина δh для деталей из одной кассеты

почти целиком определяется случайными факторами и ее значением до обработки (рис. 5). Отметим, что эта закономерность установлена при точении партии заготовок и объяснена размерным износом резца [4].

Характерной особенностью периода нормального износа притиров является минимальные значения макро- и микрогеометрии (шероховатости) контактирующих поверхностей, свойственные данному сочетанию материалов деталей и притиров, а также используемого абразива. Эти значения сохраняются приблизительно постоянными на протяжении всей длительности периода. П.Е. Дьяченко назвал шероховатость в этот период «оптимальной».

Представляя суммарный износ u притиров и съем с деталей в каждый момент времени произведением давления p , скорости v относительного перемещения и коэффициента k абразивной изнашиваемости контактирующих материалов, запишем выражение для распределения износа по рабочей поверхности притира:

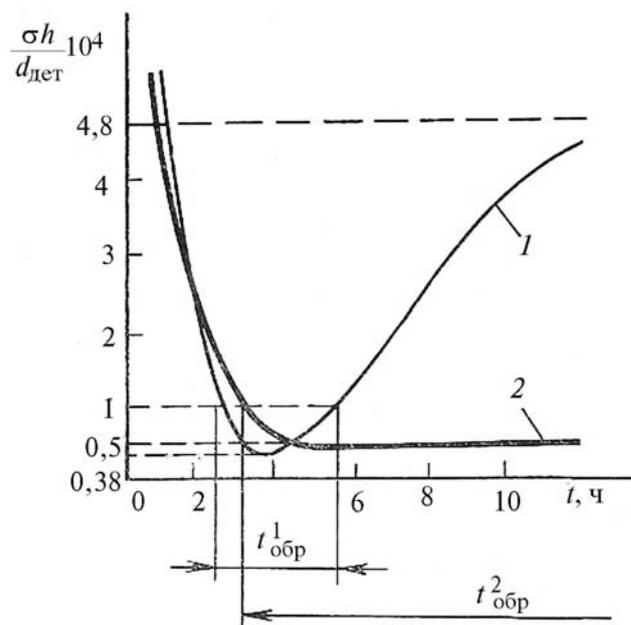


Рис. 6. Время непрерывной обработки $t_{обр}$ между правками притиров для стандартного (1) и стабилизированного (2) процесса двусторонней абразивной обработки

$$u(R, \varphi) = \frac{kG\omega_1 R}{\pi(B+R)} \times \left\{ 1 / \left[2(R_2 - R_1) - 2B \ln \frac{B+R_2}{B+R_1} \right] + eR \cos \varphi / \left[\frac{R_2^3 - R_1^3}{3} - \frac{B}{2}(R_2^2 - R_1^2) + B^2(R_2 - R_1) - B^3 \ln \frac{B+R_2}{B+R_1} \right] \right\}, \quad (4)$$

где $v \approx \omega_1 R$ в силу условия (1).

В формулу (4) время t не входит и рассматривается как параметр, но оно учитывается построением закономерности распределения величины δh при последовательной абразивной обработке нескольких закладок деталей одного диаметра. В общем случае притиры приходится периодически править для поддержания этой величины в допустимых пределах. При обработке деталей большого диаметра на узких притирах удастся стабилизировать износ последних и увеличить время между правками в несколько раз (рис. 6).

Таким образом, износ притиров при двусторонней абразивной обработке сопровождается упругой деформацией, возникающей из-за присутствия абразивной суспензии и ограниченной жесткости обрабатываемых деталей. Вследствие неравномерного износа притиров, в процессе которого происходит приработка верхнего притира к нижнему, необходимо осуществлять периодическую правку их рабочих поверхностей. Время непрерывной обработки между правками притиров зависит от конкретных условий взаимодействия инструмента с деталями, а также от требований к качеству последних, и может быть определено при обработке опытных партий деталей. При абразивной обработке подложек большого диаметра возникают возможности для стабилизации из-

носа узких притиров, в результате чего время между правками значительно возрастает.

Литература

1. SEMI MI-0611. Specification for Polished Single Crystal Silicon Wafers. Brussels, SEMI, 2011. P. 16 // SEMI M9—0811. Specifications for Polished Monocrystalline Gallium Arsenide Wafers. Brussels, SEMI, 2011; SEMI M3—1296. Specifications for Polished Monocrystalline Sapphire Substrates. Brussels, SEMI, 1996. P. 12.
2. *Чижев А.С.* Двусторонняя доводка пластин из монокристаллов на станке с планетарным приводом // Теория и практика алмазной и абразивной обработки деталей: Докл. Всесоюз. конф. М., МВТУ. 1983. С. 18—22.
3. *Чижев А.С.* Упругое контактирование поверхностей при обработке свободным абразивом // Изв. вузов. Машиностроение. МВТУ. 1981. № 2. С. 110—114.
4. *Маталин А.А.* Технология механической обработки. Л.: Машиностроение, 1977. 464 с.

Статья поступила в редакцию 27.10.2011 г.