

УДК: 621.373.8

ТЕХНОЛОГИЯ ЛАЗЕРНОЙ РЕЗКИ
КРЕМНИЕВЫХ ПЛАСТИН НА КРИСТАЛЛЫ
ОРГАНИЧЕСКИХ СВЕТОИЗЛУЧАЮЩИХ ДИОДОВ

В.С. Кондратенко, д.т.н., профессор,
В.И. Иванов[®], аспирант

Московский технологический университет, Москва, 107076 Россия
®Автор для переписки, e-mail: ivi061@gmail.com

В статье рассматриваются вопросы качества кристаллов в производстве микродисплеев на органических светоизлучающих диодах (ОСИД или OLED) после лазерного разделения. Данная работа направлена на увеличение выхода годных изделий при разрезании кремниевой приборной пластины на кристаллы методом лазерного управляемого термораскалывания (ЛТУ).

Ключевые слова: микродисплеи; лазерное управляемое термораскалывание (ЛТУ); органические светоизлучающие диоды (ОСИД или OLED); разрезание кремниевых приборных пластин на кристаллы.

TECHNOLOGY OF LASER CUTTING OF SILICON WAFERS
INTO ORGANIC LIGHT-EMITTING DIODE CHIPS

V. S. Kondratenko,
V.I. Ivanov[®]

Moscow Technological University, Moscow, 107076 Russia
®Corresponding author e-mail: ivi061@gmail.com

The article deals with the matter of crystal quality in the production of microdisplays based on organic light-emitting diodes (OLEDs) after separation. This work aimed at increasing the product yield in cutting a silicon device wafer into chips by a method based on laser controlled thermocracking (LCT). This paper considers the laser processes performed on a laser system RT-350 assessed by the heating effect on OLED structures. Data for rating the merit of the surfaces of chips after the laser controlled thermocracking and dicing, namely, the availability and size of the chipping, as well as surface roughness are presented and compared. The authors substantiated the possibility of increasing efficiency and quality in the process of cutting silicon device wafers with a thickness of 725 microns into OLEDs for microdisplays production.

Keywords: ferroelectric, thin film, PZT, modeling, disturbed layer, dead layer.

Введение

Кремний – самый распространенный полупроводниковый конструкционный материал, применяемый в различных устройствах на базе МЭМС: кремний является наиболее подходящей основой, на которой могут быть сформированы электронные, механические, тепловые, органические и оптические элементы и структуры [1].

Разрезание кремневой пластины на кристаллы является важной технологической операцией, оказывающей существенное влияние на общий процент выхода годных изделий [2].

Настоящая работа посвящена решению проблем, связанных с качеством традиционных технологий механической резки кремниевых приборных пластин толщиной 725 мкм на кристаллы с органическими светоизлучающими диодами (OLED), которые используются при производстве микродисплеев [3].

Исследование процессов резки кремниевых пластин на кристаллы

Передовые производители OLED-микродисплеев, такие, как eMagine (США), Sony (Япония), MicroOLED (Франция), Olightek (Китай) и ООО «ТОПЭ» (Россия) на этапе разделения кремниевых приборных пластин на кристаллы с OLED применяют традиционные контактные механические методы резки.

Одним из традиционных способов разделения является нанесение риски алмазным инструментом с последующим разламыванием пластины вдоль линии скрайбирования. Благодаря техническим инновациям и спросу на более высококачественные кристаллы, процессы разрезания пластин на кристаллы изменились. На сегодняшний день применяются методы скрайбирования алмазным инструментом, скрайбирование лазером, лазерное внутриобъемное скрайбирование (stealth dicing), надрезание и сквозная резка диском с алмазной режущей кромкой. Однако из-за наличия остаточных термических и механических напряжений вдоль линии реза все известные методы резки ухудшают механические свойства кремниевых пластин, в первую очередь, их прочность [4].

В ходе выполнения данной работы проведены экспериментальные исследования по алмазному скрайбированию кремниевых пластин толщиной 725 мкм на установке CNC LCD450 (Тайвань), эксперименты с разными режимами дисковой резки кремниевых приборных пластин и «сэндвичей» (подложка + стеклянная крышка) на кристаллы, а также проведен анализ различных лазерных методов [5]. Лазерная обработка кремния на различных лазерных установках с различными длинами волн, длительностью импульса (от фемтосекундного и пикосекундного режимов до наносекундного) и различными уровнями мощности не гарантирует высококачественную сквозную резку кремниевых пластин толщиной свыше 200 мкм. Более того, в случае разделения кремниевых пластин лазерными методами возникают повышенные тепловые воздействия, которые приводят к снижению прочности кристаллов и могут вызвать повреждения тонких пленок, органических структур и чувствительной электроники на кристалле.

Наиболее эффективным при прецизионной резке широкого класса хрупких неметаллических материалов является метод лазерного управляемого термораскалывания (ЛУТ), получивший мировое признание [6]. Однако, несмотря на ряд хороших результатов раз-

деления кремниевых пластин толщиной 725 мкм этим методом, во втором направлении в местах пересечения линий реза часто происходит отклонение реза от прямолинейной траектории. В связи с этим необходимо использовать нанесение надрезов по всей длине каждого реза во втором направлении [7]. Надрезы глубиной 100 мкм наносятся импульсным твердотельным лазером УФ-диапазона (356 нм); такие надрезы дают дополнительную степень контроля продвижения трещины, являясь концентраторами напряжения по всей длине реза. ЛУТ по надрезам обеспечивает эффективное и высококачественное разделение пластин с OLED на кристаллы по сравнению с классическим методом ЛУТ. Нанесение предварительных надрезов по всей длине реза импульсным УФ-лазером мощностью ~ 4.5 Вт с размерами пучка 0.05×0.05 мм² со скоростью перемещения $v = 20\text{--}30$ мм/с позволяет избежать отклонения реза от прямолинейной траектории [8].

Результаты и их обсуждение

Оценка качества кристаллов после резки

Ниже представлены результаты выполнения комплекса научно-исследовательских и экспериментальных работ по разделению кремниевых приборных пластин толщиной 725 мкм с OLED на кристаллы.

На рис. 1 приведены изображения кромки кристалла и его профиля, полученные с по-



Рис. 1. Сколы на кремниевом кристалле после алмазного скрайбирования (а), его профиль (б) и пересечение линий реза с рабочей стороны (в).

мощью оптического микроскопа модели PSM-1000 фирмы Motic (Китай). Зачастую при алмазном скрайбировании сколы превышают размеры 150 мкм, и, как правило, кромка имеет искривленную форму, которая сказывается на прочности одной из граней кристалла, это может вызвать брак на последующих технологических операциях.

Передовые производители OLED-микродисплеев eMagine (США) и Olightek (Китай) применяют метод дисковой резки. На рис. 2 приведены изображения кремниевого кристалла OLED-микродисплея фирмы eMagine (США), полученные на том же микроскопе. Видны характерные черты применения дисковой резки, в том числе, наличие сколов размером более 100 мкм.

На рис. 3 представлены фотографии кремниевого кристалла OLED-микродисплея производства ООО «ТОПЭ» (Россия) после дисковой алмазной резки на установке ADT 7100 ProVectus (Израиль). Следует отметить различия этапов сборки: у eMagine резка кремниевых пластин с OLED и стеклянных крышек происходит отдельно, а в ООО «ТОПЭ» на операцию резки поступают так называемые «сэндвичи» (приборная пластина с OLED, загерметизированная стеклянной крышкой при помощи специального клея).

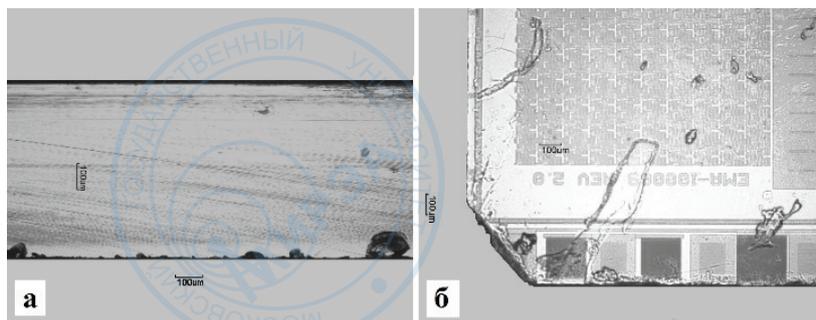


Рис. 2. Сколы на кремниевом кристалле от OLED-микродисплея фирмы eMagine: профиль (а); пересечение линий реза с рабочей стороны (б).

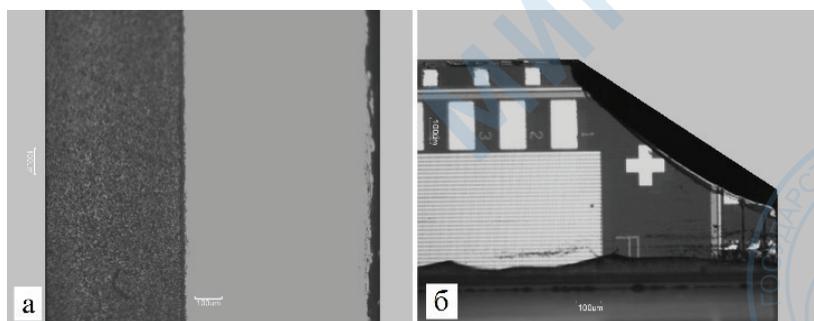


Рис. 3. Сколы на кремниевом кристалле от OLED-микродисплея ООО «ТОПЭ»: профиль (а); пересечение линий реза с рабочей стороны (б).

Ввиду того, что механические методы разрезания кремниевых пластин являются контактными, избежать сколов на рабочей поверхности кристаллов невозможно. Кроме того, из-за физико-механических особенностей процессов и износа алмазного режущего инструмента размеры сколов зачастую превышают допустимые, что вызывает брак (рис. 4а) и сказывается на качестве последующей операции разварки контактов между кристаллом и печатной платой (рис. 4б).



Рис. 4. Повреждения контактных площадок (а) и брак разваренных контактов кристаллов из-за сколов (б).

На рис. 5 представлены результаты лазерной резки по обратной стороне кремниевых приборных пластин [8], применяемых в ООО «ТОПЭ» при производстве OLED-микродисплеев. Установка РТ-350 (Россия), на которой осуществлялось ЛУТ по надре-

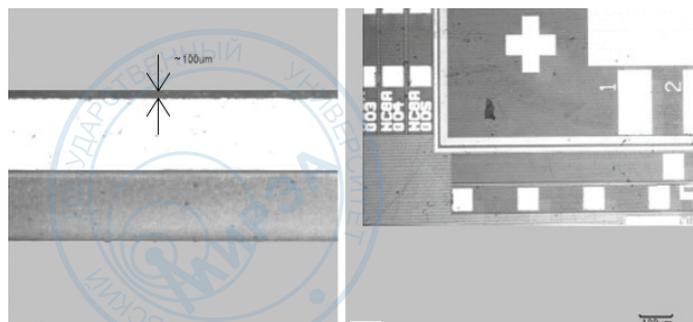


Рис. 5. Качество резов после ЛУТ по предварительным надрезам: профиль (а); пересечение линий реза с рабочей стороны (б).

зам, оснащена ИК-камерой с диапазоном чувствительности в спектре 1460–1625 нм (для кремния пропускание ~55%), которая позволяет получать на дисплее ПК 12-ти кратное увеличение изображения пластины, расположенной лицевой стороной вниз.

Количественная оценка качества кристаллов после резки

Для количественной оценки качества кристаллов измерена шероховатость торцов рабочих поверхностей вдоль линий реза с помощью профилометра модели XP-200 фирмы Ambios (США). Шероховатость поверхности после скрайбирования составила $RZ \approx 22.5539$ мкм (рис. 6а), после дисковой резки $RZ \approx 11.1368$ мкм (рис. 6б), а после ЛУТ $RZ \approx 0.005$ мкм (рис. 6в).

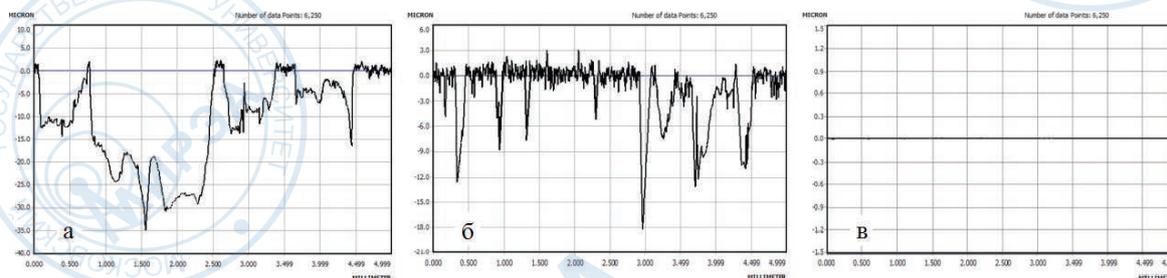


Рис. 6. Профилограммы поверхностей кромок кристаллов после скрайбирования (а), дисковой резки (б) и ЛУТ (в).

С целью определения качественного влияния нагрева на структуры OLED при нанесении надрезов и ЛУТ, с помощью цветоанализатора CA-310 компании Konica Minolta (Япония) были проведены измерения яркости образцов до и после резки. Результаты измерений яркости приведены на рис. 7а. Значения яркости остались такими же, как и до резки. Измерена также неравномерность яркости по области свечения образцов после ЛУТ при помощи люксметра/цветоанализатора LumiCam 1300 производства компании Instrument Systems (Германия). Неравномерность яркости OLED-микродисплеев не должна превышать 15% [3], трехмерные модели представлены на рис. 7б: неравномерность по яркости не превышает 10%. Это говорит о том, что термическое воздействие при лазерной резке не ухудшает эксплуатационные параметры OLED. Приведенные в

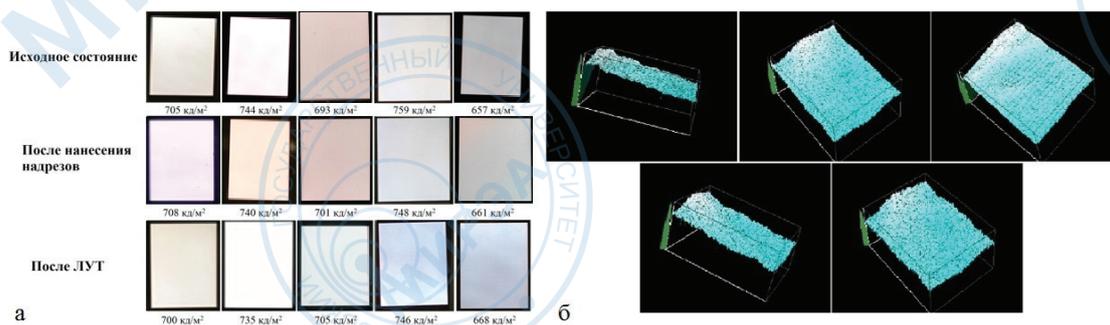


Рис. 7. Яркость OLED до резки, после нанесения надрезов и после ЛУТ (а) и трехмерные модели распределения яркости пяти измеренных тестовых образцов (б).

данной работе методики оценки качества описаны в ранее опубликованной работе [9], на их основе разработана система контроля качества кристаллов с OLED после резки.

Выводы

Проведенные в данной работе исследования и полученные результаты доказывают высокую эффективность применения метода лазерного управляемого термораскалывания (ЛУТ) для разделения кремниевых приборных пластин толщиной 725 мкм со структурами OLED на кристаллы, используемые в производстве микродисплеев.

Установлены следующие существенные преимущества описанного метода лазерной резки по сравнению с применяемыми ведущими производителями OLED-микродисплеев традиционными методами:

- высокая скорость резки – до 80 мм/с;
- высокое качество резки за счет отсутствия микротрещин и сколов вдоль линии реза на рабочей поверхности кремниевой приборной пластины, в том числе, уменьшение шероховатости более, чем на три порядка;
- OLED не деградируют;
- качество кромки изделий после ЛУТ соответствует качеству финишной полировки;
- резка методом ЛУТ позволяет увеличить процент выхода годных изделий.

Внедрение разработанного технологического процесса лазерной резки кремниевых подложек на кристаллы в производство OLED-микродисплеев позволяет практически на порядок увеличить производительность процесса резки и увеличить процент выхода годных изделий за счет бездефектности кромки по рабочей поверхности кремниевых кристаллов.

Литература

1. Maluf N., Williams K. An Introduction to Microelectromechanical Systems Engineering. Boston: Artech House, 2004.
2. Sullivan S. Handbook of Silicon Based MEMS Materials and Technologies. Oxford: Elsevier, 2010. Chapter 41. P. 601–606.
3. Грачев О.А., Иванов В.И., Кондрацкий Б.А., Усов Н.Н. [и др.] Исследование и разработка технологии создания активно-матричных микродисплеев на основе органи-

ческих светодиодов (ОСИД) // Нанотехника. 2014. № 2 (38). С. 43–45.

4. Schoenfelder S., Ebert M., Landesberger C., Bock K., Bagdahn J. Investigations of the influence of dicing techniques on the strength properties of thin silicon // Microelectronics Reliability. 2007. V. 47 (2-3). P. 168–178.

5. Иванов В.И. Методы резки кремниевых приборных пластин на чипы в производстве органических микродисплеев // Интернет-журнал «Науковедение». 2014. № 4 (23). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/87TVN414.pdf>, свободный. – Загл. с экрана.

6. Кондратенко В.С. Способ резки неметаллических материалов: патент № 2024441 РФ. – № 5030537; заявл. 02.04.1992; опубл. 15.12.1994. Бюл. 23.

7. Кондратенко В.С., Наумов А.С. Способ резки пластин из хрупких материалов: патент № 2404931 РФ. – № 2009132338/084; заявл. 28.08.2009; опубл. 27.11.2010. Бюл. 33.

8. Кондратенко В.С., Борисовский В.Е., Иванов В.И., Зобов А.К. Повышение эффективности процесса лазерной резки кремниевых приборных пластин на кристаллы ОСИД // Приборы. 2015. № 9 (183). С. 49.

9. Иванов В.И. Методы контроля качества кремниевых кристаллов с ОСИД после лазерной резки // Результаты научных исследований: сб. статей VII Междунар. науч.-практ. конф. (5 октября 2015 г., г. Екатеринбург). – Уфа: АЭТЕРНА, 2015. С. 43–48.