

УДК 621.373.8:658.562

PACS: 06.60.Mr

Влияние методов резки кремниевых подложек на качество органических светоизлучающих диодов

В. С. Кондратенко, В. И. Иванов

Данная работа посвящена решению проблемы качества резки кремниевых приборных пластин толщиной 725 мкм на кристаллы с органическими светоизлучающими диодами (ОСИД или OLED – Organic light-emitting diode), которая является актуальной в производстве микродисплеев на основе ОСИД. В статье рассматриваются методы резки кремниевых приборных пластин на кристаллы с ОСИД и методы контроля качества кристаллов ОСИД. Работа направлена на внедрение высокоэффективного и высококачественного технологического процесса прецизионной лазерной резки кремниевых пластин на основе метода лазерного управляемого термораскалывания (ЛУТ) в производство микродисплеев на OLED. Представлены современные методы и приборы контроля качества, их применение позволяет повысить достоверность проверки при комплексных обследованиях ОСИД микродисплеев.

Ключевые слова: органические светоизлучающие диоды, ОСИД, кремний, разрезание кремниевых приборных пластин на кристаллы, лазерное управляемое термораскалывание, ЛУТ, методы контроля качества.

Введение

Процесс производства микродисплеев на основе органических полупроводников на этапе подготовки кристаллов к сборке предусматривает резку кремниевой приборной пластины с органическими светоизлучающими диодами (ОСИД) на отдельные кристаллы. В последнее время для этого широко применяют методы корпусирования на уровне пластины (т.н. сэндвич-технология), поскольку в наиболее эффективные методы резки приборных пластин на кристаллы интегрирована вода. Здесь приборная кремниевая пластина диаметром 200 мм и толщиной 725 мкм с 92 кристаллами ОСИД, загерметизированная стеклянной крышкой толщиной 700 мкм, поступает на операцию разделения. Заметим, что эта пластина обладает большой себестоимостью, и методы её резки, естест-

венно, должны быть достаточно эффективны и бездефектны. Однако традиционные способы разделения кремниевых пластин на кристаллы, основанные на механической и лазерной обработке, имеют ряд основных качественных недостатков [1]:

- расход исходного материала, связанный с шириной реза, зачастую соизмеримой с толщиной пластины;
- наличие сколов по линии реза или разлома влияющих на качество изделия;
- долговременное воздействие воды или высоких температур часто приводят к разрушению или деградации органических структур на кристаллах.

Таким образом, повышение качества резки кремниевых подложек на кристаллы с ОСИД (или OLED – Organic light-emitting diode) и контроль их качества являются актуальными задачами для процесса производства микродисплеев на основе органических структур.

Целью данной работы является исследование возможности внедрения высокоэффективного и высококачественного процесса прецизионной лазерной резки кремниевых пластин на основе метода лазерного управляемого термораскалывания (ЛУТ) в производство микродисплеев на ОСИД.

Кондратенко Владимир Степанович, директор, д.т.н., профессор.

Иванов Владимир Игоревич, аспирант.

Физико-технологический институт Московского технологического университета.

Россия, 107996, Москва, ул. Стромынка, 20.

Тел. (499) 268-02-96.

E-mail: vsk1950@mail.ru; ivi061@gmail.com

Статья поступила в редакцию 22 декабря 2016 г.

© Кондратенко В. С., Иванов В. И., 2017

Анализ существующих технологий резки кремниевых приборных пластин с ОСИД

Операция резки кремниевых приборных пластин в техпроцессе изготовления ОСИД-дисплеев хорошо изучена, причем по аналогии с процессами изготовления ЖК-дисплеев. Однако в данном случае необходимо дополнительно учитывать свойства органических материалов.

Органические материалы деградируют при температуре свыше +90 °С и при воздействии окружающей среды (воды и кислорода). Они также чувствительны к вибрациям, поскольку толщины слоев органических материалов составляют всего несколько ангстрем, а герметизирующие слои, напротив, имеют толщины порядка 700 нанометров и имеют собственные локальные напряжения.

Методы скрайбирования полупроводниковых пластин [2] фактически не изменялись на протяжении последних нескольких лет. Заметим, что при скрайбировании следует учитывать коэффициент концентрации напряжений k для определения максимального напряжения изгиба на поверхности за счет приложенного изгибающего момента, который можно рассчитать по формуле:

$$k = (0,355(t - d) / r) + 0,85) / 2 + 0,08,$$

где r – размер алмазного зерна; d – глубина реза; t – толщина подложки.

Видно, что чем толще подложка, тем требуется большее напряжение изгиба. Применение лазерного и механического скрайбирования при толщине подложек 725 мкм не целесообразно в виду ряда факторов, основным из которых будет брак при операции «докальвания».

Ранее была исследована лазерная обработка кремния различными лазерными системами [3, 4] с разными уровнями мощности и разной шириной импульса – от фемтосекундного [5] и пикосекундного [6] до наносекундного [7] режимов. И ни в одной из вышеуказанных работ не упоминалось о резке кремниевых пластин толщиной свыше 200 мкм.

Из всех известных методов наибольшее распространение в производстве микродисплеев ОСИД получил метод дисковой алмазной резки, поскольку она легко адаптируема под разрезание стекла и кремния как по отдельности, так и вместе. Этот метод применяют ведущие производители микродисплеев ОСИД: eMagine (США), Olightek (Китай) и ООО «ТОПЭ» (Россия). Резка самого стекла не влияет на качество ОСИД, однако, помимо множества непредвиденных факторов, алмазный инструмент изнашивается, и при резке кремния возникают повреждения в местах пересечения резов и вдоль линии реза. Это основная причина брака при дисковой алмазной резке кремниевых приборных пластин на кристаллы в производстве микродисплеев ОСИД, так как при последующей разварке контактных площадок кристалла с контактами печатной платы ряд контактов из-за сколов может не привариться (см. рис. 1).



Рис. 1. Ненадежность разваренных контактов кристалла из-за сколов после дисковой алмазной резки.

Именно поэтому возникла потребность в исследовании и разработке методов контроля качества и оптимального производственного процесса резки кремниевых подложек на кристаллы ОСИД на основе метода ЛУТ, который уже зарекомендовал себя в мире как бездефектный.

Исследование возможностей метода лазерной резки на основе ЛУТ

Авторы провели множество исследований и сравнительных экспериментов по двум методам – дисковой алмазной резке и ЛУТ [8]. Оптимизация

технологических режимов ЛУТ и резка опытных партий изделий осуществлялась на установке РТ-350 (Россия), которая позволяет осуществлять ЛУТ с обратной стороны кремниевой пластины за счет интегрированной системы визуализации с ИК-камерой, обладающей диапазоном чувствительности в спектре 1460–1625 нм (где для кремния пропускание ~55 %). Наилучшим режимом для резки кремниевой подложки на кристаллы будет использование однопроходного сквозного ЛУТ, поскольку нет выгоды от многопроходного процесса ввиду повышения временных затрат.

Полный сквозной раскол кремниевой пластины толщиной 725 мкм достигается в процессе ЛУТ на установке РТ-350 с помощью одного прохода при эллиптичности ~ 7:1 и плотности мощности 1190 Вт/мм² со средней скоростью резки 50–70 мм/с, в то время как скорость дисковой резки составляет не более 1–4 мм/с.

Но в ряде случаев при ЛУТ во втором направлении происходит отклонение реза от прямой траектории, и поэтому возникла потребность в дальнейшей модернизации процесса. Была повышена эффективность процесса [9, 10] за

счет применения запатентованного способа ЛУТ по предварительным надрезам, которые наносились УФ-лазером ($\lambda = 356$ нм) мощностью ~4,5 Вт с частотой модуляции порядка 100 кГц и размерами пучка 0,05×0,05 мм на скорости 30 мм/с. Глубина надрезов составила 100 мкм. Они, являясь концентраторами напряжения по всей длине реза, дают дополнительную степень контроля продвижения трещины, благодаря чему при последующем сквозном ЛУТ резы стали ровными.

Таким образом, доказана высокая эффективность и установлен ряд преимуществ лазерной резки на основе метода ЛУТ перед традиционной дисковой алмазной резкой, что выразилось в следующих факторах: повышение производительности за счет увеличения скорости резки до 80 мм/с в сравнении с 1–4 мм/с при дисковой алмазной резке; высокое качество резки; ОСИД-структуры не деградируют.

На рис. 2 проведено сравнение качества кристаллов после резки с рабочей стороны пластины при увеличении 20^х. Видно, что после ЛУТ резы чистые, без микротрещин и сколов, в отличие от дисковой резки.

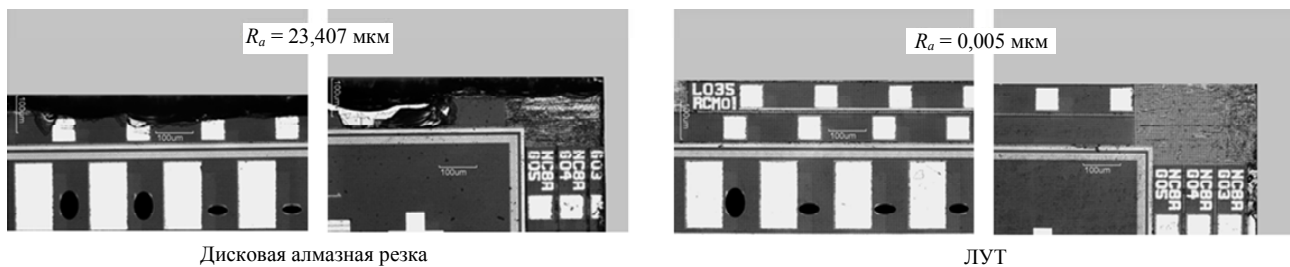


Рис. 2. Сравнение дисковой алмазной резки и метода ЛУТ.

Дополнительно при помощи профилометра модели ХР-200 фирмы Ambios (США) была измерена шероховатость поверхности после дисковой алмазной резки $R_a = 23,407$ мкм и $R_a = 0,005$ мкм после ЛУТ.

Заметим, что для производства ОСИД-дисплеев, помимо оценки и анализа качества резки кристаллов, важно контролировать работоспособность самого ОСИД, что требует разработки целостной системы контроля качества кристаллов с ОСИД.

Разработка системы контроля качества кристаллов с ОСИД

В рамках работы [11] впервые разработана система контроля качества кристаллов с ОСИД,

структура которой представлена на рис. 3. Данная система включает в себя следующие этапы: измерение яркости исходных и этих же образцов при помощи цветоанализатора/яркомера СА-310 производства компании Konica Minolta (Япония), визуальный контроль на наличие сколов и трещин при помощи оптического микроскопа модели PSM-1000 фирмы Motic (Китай) с возможностью увеличения до 100^х, количественная оценка качества торцов путем измерения шероховатости рабочей кромки кристаллов с помощью профилометра модели ХР-200 фирмы Ambios (США). В качестве дополнительного метода оценки качества ОСИД измеряется неравномерность яркости по области свечения образцов при помощи люксметра/цветоанализатора LumiCam 1300 производства компании InstrumentSystems (Германия).



Рис. 3. Структура системы контроля качества кристаллов с ОСИД.

Сущность системы контроля качества кристаллов с ОСИД заключается в следующем: после напыления ОСИД-структур и герметизации отбираются 5 из 92 кристаллов, затем перед резкой с помощью цветоанализатора/яркомера замеряется их яркость. После резки при помощи оптического микроскопа с увеличением до $100\times$ производится визуальный контроль на наличие сколов по рабочей поверхности кристаллов вдоль резов и замеряется шероховатость рабочей кромки контрольных кристаллов с помощью профилометра. Перед посадкой на печатные платы все 92 кристалла с ОСИД проходят тест на включение, измеряется их яркость с помощью цветоанализатора/яркомера; для вышеуказанных 5 отобранных образцов дополнительно измеряется неравномерность яркости по области свечения при помощи люксметра/цветоанализатора.

Система контроля прошла апробацию и полученные результаты [11] позволяют утверждать, что лазерные воздействия при нанесении надрезов и последующем процессе ЛУТ при оптимальных производственных параметрах не приводят к деградации структуры ОСИД. Систематический контроль на разных этапах производства является одним из основных условий повышения качества изделий.

Разработанная система контроля качества кристаллов с ОСИД позволит обеспечить качественное внедрение процесса лазерной резки кремниевых подложек в производство микродисплеев ОСИД.

Заключение

В статье изложены научно и экспериментально обоснованные методы решения производственных задач при изготовлении качественных кристаллов ОСИД с помощью лазерной резки на основе метода ЛУТ по предварительным надрезам, нанесенным импульсным УФ-лазером. Предложена система контроля качества кристаллов ОСИД.

Полученные результаты позволяют внедрить разработанный процесс лазерной резки кремниевых подложек на кристаллы ОСИД в производство микродисплеев на основе ОСИД, который имеет следующие достоинства:

- практически на порядок увеличивает производительность процесса резки за счет высокой скорости резки до 80 мм/с по сравнению с традиционными методами;
- не влияет пагубно на ОСИД;
- улучшает качество кромки изделий (оно соответствует качеству финишной полировки), уменьшает шероховатости по рабочей кромке более чем на три порядка по сравнению с дисковой алмазной резкой;
- позволяет увеличить процент выхода годных изделий ввиду отсутствия микротрещин и сколов вдоль линии реза на рабочей поверхности кремниевой приборной пластины;
- повышает механическую прочность изделий до пяти раз за счет отсутствия остаточных напряжений и микродефектов вдоль линии реза по рабочей поверхности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов В. И. // Интернет-журнал «Науковедение», 2014. № 4 (23) [Электронный ресурс]. – М.: Науковедение, 2014. Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/87TVN414.pdf>
2. Никифорова-Денисова С. Н. Технология полупроводниковых приборов и изделий микроэлектроники. В 10 книгах. Книга 4. Механическая и химическая обработка. – М.: «Высшая школа».
3. Zeng X. J., Mao X., Greif R., Russo R. E. // Proc. SPIE. 2004. Vol. 5448. P. 1150.
4. Bovatsek J. M., Patel R. S. // Proc. SPIE. Vol. 7585. P. 75850K.
5. Bonse J., Baudach S., Krüger J., Kautek W., Lenzner M. // Applied Physics A. 2002. Vol. 74. P. 19.
6. Raciukaitis G., Brikas M. // Proc. SPIE. 2004. Vol. 5662. P. 717
7. Klotzbach U., Panzner M., Kasper J., Hendrik W., Thomas K., Franke V., Eckhard B. // Proc. SPIE 2002. Vol. 4637. P. 496.

8. Кондратенко В. С., Борисовский В. Е., Иванов В. И. // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России. 2014. № 2. С. 76.
9. Кондратенко В. С., Борисовский В. Е., Иванов В. И., Зобов А. К. // Приборы. 2015. № 9. С. 49.

10. Кондратенко В. С., Иванов В. И. // Российский технологический журнал. 2016. Том. 4. № 3. С. 11.
11. Иванов В. И. / Сборник статей VII Междунар. науч.-практ. конф. (5 октября 2015 г., г. Екатеринбург). С. 43–48.

PACS: 06.60.Mr

Influence of cutting methods for silicon wafers on the quality of organic light-emitting diodes

V. S. Kondratenko and V. I. Ivanov

Institute of Physics and Technology of the Moscow University of Technology
20 Stromynka str., Moscow, 107996, Russia
E-mail: vsk1950@mail.ru, ivi061@gmail.com

Received December 22, 2016

This work is devoted to solving the problem of the quality of cutting silicon wafer with thickness of 725 microns on the crystals with organic light emitting diodes (OLEDs). The article deals with traditional and new methods of cutting silicon wafers on crystals with OLEDs and modern quality control methods of OLED crystals. This work is aimed at improvement of quality of OLEDs by implementing the process of cutting silicon wafers by laser controlled thermocracking (LCT).

Keywords: organic light emitting diode, OLED; silicon; laser controlled thermocracking, LCT; quality control methods.

REFERENCES

1. V. Ivanov, Internet-magazine "Naukovedenie", No. 4, 23 (2014) <http://naukovedenie.ru/PDF/87TVN414.pdf>
2. S. N. Nikiforova-Denisova, *The technology of semiconductor devices and microelectronic products. The 10 books. Book 4. Mechanical and chemical treatment* (High School, Moscow, 1989) [in Russian].
3. X. J. Zeng, X. Mao, R. Greif, and R. E. Russo, Proc. SPIE **5448**, 1150 (2004).
4. J. M. Bovatsek and R. S. Patel, Proc. SPIE **7585**, 75850K (2010).
5. J. Bonse, S. Baudach, J. Krüger, W. Kautek, and M. Lenzner, Applied Physics A. **74**, 19 (2002).
6. G. Raciukaitis and M. Brikas, Proc. SPIE **5662**, 717 (2004).
7. U. Klotzbach, M. Panzner, J. Kasper, W. Hendrik, K. Thomas, V. Franke, and B. Eckhard, Proc. SPIE **4637**, 496 (2002).
8. V. S. Kondratenko, V. E. Borisovsky, and V. I. Ivanov, *Oboron. Kompleks - Nauchn. Tekhn. Progr. Russia*, No. 2, 76 (2014).
9. V. S. Kondratenko, V. E. Borisovsky, V. I. Ivanov, and A. K. Zobov, *Instruments* **9**, 49–55 (2015).
10. V. S. Kondratenko and V. I. Ivanov, *Russ. Tekhnol. Zhurn.* **4** (3), 11 (2016).
11. V. I. Ivanov, in *Proc. Inter. scientific and practice Conf. Results of scientific research VII* (Ekaterinburg, 2015), pp. 43–48.