

05;06;12

©1993 г.

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ И ПРОСТРАНСТВЕННЫХ НАРУШЕНИЙ В ПОЛУИЗОЛИРУЮЩЕМ АРСЕНИДЕ ГАЛЛИЯ

Н.Н.Лебедева, В.И.Орбух, И.Р.Гадирова

Описывается устройство для визуализации электрических и пространственных нарушений в полуизолирующем ($\rho \geq 10^6$ Ом·см) арсениде галлия. Приведены фотографии свечения газа в зазоре и поверхности полупроводника после травления ее в разряде, которые демонстрируют совпадение по основному рисунку картины. Такой же рисунок дает картина химического травления поверхности для выявления дислокаций, что указывает на возможность визуализировать в устройстве и пространственные нарушения.

Необходимость высокой однородности полуизолирующего GaAs, используемого в электронной технике, широко обсуждается в литературе. Полуизолирующий GaAs содержит, как правило, большое число макро- и микродефектов, сильно влияющих на локальное изменение электрических параметров. Поэтому любая количественная оценка материала требует описания пространственного распределения как электрических параметров, так и структурных дефектов.

Материал является полуизолирующим благодаря собственным комплексным дефектам, так называемым EL2-центрам, которые являются глубокими донорами и обеспечивают электросопротивление материала порядка $10^7 - 10^8$ Ом·см. Из-за участия EL2 во многих электрических и оптических механизмах за ними признается преимущественная роль в корреляции пространственных нарушений и электрических параметров в GaAs. Этой проблеме были посвящены специальные конференции [1,2].

Методы визуализации EL2 используют процессы взаимодействия света с материалом: поглощение, рассеяние, люминесценцию. Полученные картины распределения EL2 совпадают с данными вартирования электрического сопротивления и холловской подвижности. Особый интерес вызывают работы, где визуализация EL2 осуществляется при ИК просвечивании пластины GaAs [3-7]. Получаемые при этом картины совпадают с картинами распределения дислокаций, полученных традиционным методом химического травления поверхности и топограммами X-лучей, прошедших или отраженных от пластины полуизолирующего GaAs. Пластина кристалла, полученного по стандартной технологии

Чохральского, дает в центральной зоне сетку световых ячеек (размером 200²-500 мкм), ограниченных темными стенками; в периферийной области эти ячейки проявляются как стримеры, часто образующие крест, центрируемый в направлении $\langle 110 \rangle$. Параллельное исследование дислокационного узора в полуизолирующем GaAs методом ИК просвечивания и лазерно-сканирующей микроскопии [8-10] показало, что так называемые "стандартные" EL2-центры равномерно распределены по объему кристалла; различные сорта EL2-центров сосуществуют преимущественно с дислокациями; области повышенной плотности EL2-центров в значительной степени перекрывают области, занимаемые дислокациями; техника лазерного сканирования, имеющая несравненно высокое по сравнению с техникой ИК просвечивания разрешение, способна исследовать структуру дислокационного узора и индивидуальных дислокаций, тогда как EL2-центры, визуализируемые за счет ИК поглощения или рассеяния, способны лишь обозначить макрообласти, содержащие дислокации.

Если решается задача распределения EL2-центров по площади пластин полуизолирующего GaAs большого диаметра, то ИК изображение способно визуализировать лишь оптически активные центры, тогда как EL2-центры, определяющие локальное электросопротивление, но оптически пассивные, этим методом не проявляются.

Настоящая работа представляет новый вариант визуализации распределения электросопротивления по площади пластин полуизолирующего GaAs большого диаметра ($\varnothing 40-60$ мм), используемых в электронной технике.

Известно [11], что если в плоской газоразрядной ячейке один из электродов выполнен в виде полупроводниковой пластины, сопротивление которой $\rho \geq 10^{-6}$ Ом·см, то газоразрядный ток в ячейке распределяется по всей площади электродов, вызывая равномерное свечение газового разряда. Отсутствие шнурования обеспечивается распределенным сопротивлением полупроводникового электрода. Интенсивность свечения пропорциональна току разряда.

В настоящее время на основе такой ячейки с фоточувствительным полупроводниковым электродом (GaAs:Cr, Si:Pt, Si:Zn) созданы устройства для преобразования и фотографирования ИК изображений [12]. Исследуя характеристики таких устройств, нетрудно было убедиться, что они существенно зависят от качества полупроводникового электрода. Часто можно было наблюдать, как при однородной засветке полупроводника образуется неоднородное свечение разряда.

Для изучения этого вопроса мы предложили модифицированную фотоионизационную систему [13] (рис. 1), в которой на обоих свободных поверхностях полупроводниковой пластины осуществляются плазменные контакты. Полупроводниковая пластина 1 с обеих сторон отделена от прозрачных металлических электродов 2, 3, которые представляют слой SnO₂ на стекле, тонкими (20 мкм) зазорами 4, 5, заполненными газом при понижении давления. При подаче на электроды постоянного напряжения, превышающего напряжение зажигания, по обе стороны от пластины зажигается разряд. Через электрод 2 и зазор 4 полупроводник может равномерно освещаться, через электрод 3 наблюдается картина свечения разряда в зазоре 5. При использовании воздушной газовой среды на электрод 3 подается положительный потенциал, на электрод 2 — отрицательный. Это существенно влияет на результат взаимодействия тока разряда со свободными поверхностями полупроводника. В зазоре 4 по-

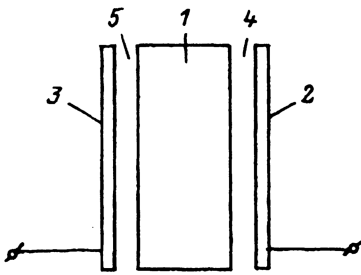


Рис. 1. Схема газоразрядной ячейки.
1 — полупроводниковая пластина; 2,3 — прозрачные электроды; 4,5 — газовые зазоры.

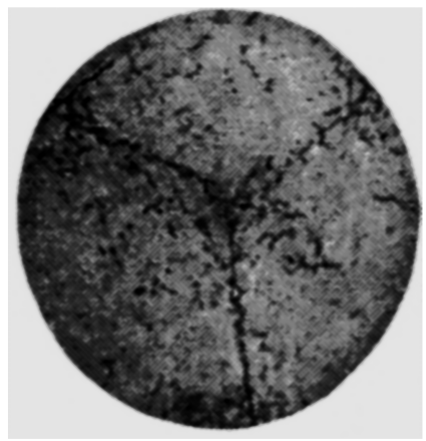


Рис. 2. Свечение газового разряда в зазоре (зазор 5 на рис. 1).

верхность полупроводника бомбардируется электронами и отрицательными ионами кислорода, что приводит к нарушению поверхности полупроводника. В зазоре 5 бомбардировке подвергается электрод 3 из SnO_2 , а на поверхности полупроводника видимых изменений не наблюдается.

Такая модификация ионизационной системы может быть использована в качестве прибора для визуального контроля однородности проводимости и фоточувствительности полупроводниковых высокоомных материалов при равномерном освещении их поверхности. Как следует из принципа действия ионизационной системы, ток и свечение зависят от локальной проводимости полупроводника, поэтому если в полупроводнике имеют место неоднородности проводимости, то они должны визуализироваться в свечении газового разряда. Так как неоднородность проводимости обусловлена флуктуацией EL2-центров, то в устройстве визуализируется распределение EL2-центров.

На рис. 2 представлено свечение разряда в ионизационной системе с полупроводником из полуизолирующего GaAs. Фотография свечения сделана со стороны зазора 5 (рис. 1). Точно такая же картина свечения формировалась и с противоположной стороны пластины в зазоре 4. Отпечаток картины свечения в зазоре 4 после определенной экспозиции фиксировался на свободной поверхности полупроводника, образующей этот зазор. Поверхность полупроводника представлена на рис. 3. Видно, что рисунок, отпечатанный на одной поверхности полупроводника, и фотография свечения газового разряда с противоположной стороны пластины идентичны: основной узор составляют три линии, радиально расходящиеся под углом 120° . Надо полагать, что в зазоре 4 поверхность под воздействием ионов кислорода подвергается травлению в газовом разряде. Интенсивность травления определяется током, и потому картина поврежденной газовым травлением поверхности идентична картине свечения разряда.

Таким образом, в модифицированной ионизационной системе картина распределения неоднородности проводимости в пластине GaAs может быть визуализирована в свечении газового разряда и одновременно зафиксирована на ее поверхности. На том же образце было проведено хи-



Рис. 3. Поверхность полупроводниковой пластины после ее травления газовым разрядом (в зазоре δ на рис. 1).

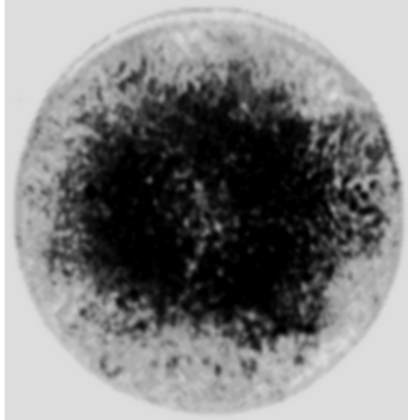


Рис. 4. Поверхность полупроводниковой пластины после химического травления.

мическое травление с целью выявления дислокации. Использовался АВ травитель. В результате травления 5–10 мин при комнатной температуре была выявлена картина травления, приведенная на рис. 4. Идентичность всех трех фотографий по главному узору рисунка — радиально расходящимся линиям очевидна.

Анализ картины свечения разряда должен решить вопрос об эффективности визуализации областей различной проводимости в зависимости от их структуры. В случае, если масштаб неоднородности превышает десятки микрон, т.е. больше как моно-, так и биполярной длины диффузии, представляется возможным следующее качественное рассмотрение неоднородностей трех типов (рис. 5). Двумерные сквозные неоднородности проводимости, параллельные поверхности (рис. 5,а), двумерные сквозные неоднородности, перпендикулярные поверхности (рис. 5,б), и трехмерные неоднородности, распределенные по объему полупроводника (рис. 5,в). В случае, представленном на рис. 5,а, неоднородность может лишь изменить общий фон свечения через влияние на полную проводимость полупроводника и потому в изображении не проявляется. На рис. 5,б неоднородности проводимости проявляются наилучшим образом. Тут мы имеем ситуацию параллельно соединенных сопротивлений, по которым текут разные токи, вызывающие в разряде разную интенсивность свечения. Разрешающая способность при $\Delta l > l$, где Δl — ширина неоднородности, l — ширина газового зазора, вообще не зависит от Δl и, следовательно, наблюдаемая картина адекватно передает распределение двумерных продольных неоднородностей. При $\Delta l < l$ коэффициент передачи пропорционален $\Delta l/l$. В случае (рис. 5,в) наблюдаемая картина будет формироваться неоднородностями, находящимися на глубине по-

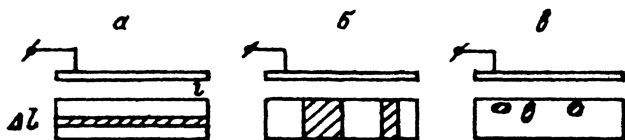


Рис. 5. Схема различных по форме электрических неоднородностей в полупроводниковой пластине.

рядка газового зазора, что следует из условия непрерывности нормальной составляющей тока и потенциала на границе плазма-полупроводник. В этом случае свечение разряда дает картину неоднородностей, усредненную по слою толщиной l .

С учетом этих соображений можно интерпретировать картину свечения разряда. Идентичность основного узора в картине свечения газового разряда и в картине химического травления поверхности говорит о том, что метод позволяет визуализировать структурные несовершенства в полупроводнике. Очевидно, что необходимым условием визуализации структурных дефектов в нашем методе является неоднородность проводимости, и так как она обусловлена неоднородным распределением EL2-центров, то, следовательно, структурные дефекты находятся в области неоднородного распределения EL2-центров. В отличие от метода ИК просвечивания структурных несовершенств за счет поглощения только оптически активными EL2-центрами наш метод визуализирует структурные нарушения за счет флуктуации — концентрации EL2-центров, определяющей флуктуации проводимости. Совпадение основного узора картины свечения разряда с обеих сторон пластины, одна из которых фотографируется, а другая отпечатывается на самой поверхности (рис. 2,3), говорит о том, что эти неоднородности проводимости являются сквозными и перпендикулярными к поверхности пластины.

Следовательно, и структурные нарушения, визуализированные в виде трех радиально расходящихся линий, тоже сквозные и перпендикулярны поверхности полупроводниковой пластины. Другие неоднородности в картине свечения газового разряда можно интерпретировать как неоднородности проводимости, обусловленные флуктуацией концентрации EL2-центров, расположенных в слое толщиной порядка ширины газового зазора (20 мкм).

Список литературы

- [1] DRIP I Symp. Montpellier, 1985. Proc. / Ed. J.P.Fillard (Elsevier). MS monographs. 1985. Vol. 31.
- [2] DRIP II Symp. Proc. / Ed. E.Weber (Elsevier). MS monographs. 1987. Vol. 44.
- [3] *Martin G.M., Makram-Ebeid S.* Deep Levels in Semiconductors / Ed. Pantelides. 1983.
- [4] *Brozel M.R., Crant I., Ware R.M., Stirland D.J.* // Appl. Phys. Lett. 1983. Vol. 42. P. 610.
- [5] *Bonnafe J., de Murcia M., Castagne M., Fillard J.P.* // Phys. St. Sol. 1983. Vol. 16. P. K147.
- [6] *Skolnik M.S.* // DRIP I Symp. (Elsevier). MS Monographs. 1985. Vol. 31. P. 165.
- [7] *Silverberg P., Nielsen L., Omling P., Samuelson L.* // DRIP I Symp. (Elsevier). MS Monographs. 1985. Vol. 31. P. 157.
- [8] *Castagne M., Fillard J.P., Bonnafe J., Gall P.* Def. Semicon. / Ed. H.J.Von Bardeleben. 1986. Vol. 1. P. 371.
- [9] *Fillard J.P.* // Rev. Phys. Appl. 1988. Vol. 23. P. 765-777.
- [10] *Fillard J.P., Asgarinia M., Castagne M., Baroudi M.* // Jap. J. Appl. Phys. 1988. Vol. 27. N 5. P. L899-L902.
- [11] *Paul R.Blaszuk.* United States Patent. 3. 743. 881. 1973.
- [12] *Паруцкий Л.Г., Касымов Ш.С.* Авторская заявка. № 1946017/18-10. 1973. № 1978020/18-10. 1973.
- [13] *Агаронов Б.С., Зейналы А.Х., Лебедева Н.Н.* и др. АС. № 535451. 1978.

Бакинский университет

Поступило в Редакцию
26 августа 1992 г.