

Д. ф.-м. н. И. М. ВИКУЛИН, к. ф.-м. н. В. И. ИРХА,
к. ф.-м. н. Б. В. КОРОБИЦЫН, к. т. н. В. Э. ГОРБАЧЕВ

Украина, Одесская национальная академия связи им. А. С. Попова
E-mail: phys@onat.edu.ua

Дата поступления в редакцию
16.12.2003 г.

Оппонент к. т. н. В. В. РЮХТИН
(ЦКБ "Ритм", г. Черновцы)

ОПТИМИЗАЦИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК *p*—*n*-СТРУКТУР ДЛЯ ОПТОЭЛЕКТРОНИКИ

На примере арсенидгаллиевых p—n-структур рассмотрена возможность использования электролюминесценции p—n-структур для доводки их при изготовлении фотоприемников.

Основные элементы оптоэлектронной техники — излучатели света (светоизлучающие диоды — СИД) и фотоприемники (фотоэлементы, фотодиоды) выполняются на основе *p*—*n*-структур. В СИД важно выделить рекомбинационное излучение из активной области без заметного самопоглощения, которое может значительно уменьшить внешнюю эффективность. В фотоприемниках важно, чтобы область поглощения света, которая является областью генерации фотоносителей, отстояла от *p*—*n*-перехода на расстоянии около диффузионной длины для минимизации рекомбинационных потерь. Таким образом, требование минимальной толщины наружной области *p*—*n*-структур для достижения максимальной эффективности у излучателей и приемников света совпадают.

Целью настоящей работы являлось рассмотрение возможности использования электролюминесценции *p*—*n*-структур для доведения толщины наружной области до необходимой при использовании *p*—*n*-структуры в качестве СИД или фотоприемников. Дальнейшее изложение базируется на исследованиях *p*—*n*-структур в арсениде галлия, но выводы вполне применимы и для других полупроводников, у которых достаточно высок квантовый выход излучательной рекомбинации.

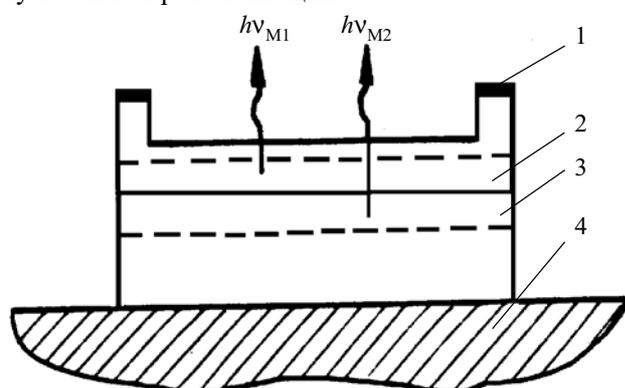


Рис. 1. Схема *p*—*n*-структуры:
1 — омические контакты; 2 — освещаемая *p*-область; 3 — *n*-область; 4 — металлическое основание

Рекомбинационное излучение в СИД генерируется как в *p*-области, так и в *n*-области, и соотношение между интенсивностью соответствующих полос спектра зависит от многих факторов, но в первую очередь, от отношения концентраций основных носителей тока в *p*- и *n*-областях. При этом энергия максимума спектральной полосы люминесценции в *p*-области $h\nu_{M1}$ меньше энергии максимума полосы в *n*-области $h\nu_{M2}$ на энергию активации акцептора [1, 2].

Как было нами показано ранее [3, 4], чтобы получить неискаженное рекомбинационное излучение *p*—*n*-структуры, необходимо толщину световыводящей области довести до одной-двух диффузионных длин неосновных носителей тока. Были изучены *p*—*n*-структуры (см. рис. 1) с концентрацией дырок около *p*—*n*-перехода равной 10^{25} м^{-3} и концентрацией электронов в *n*-области в пределах $2 \cdot 10^{21} \text{—} 10^{25} \text{ м}^{-3}$.

Для выяснения влияния толщины световыводящей области на спектры электролюминесценции (ЭЛ) были изготовлены методом жидкостной эпитаксии *p*—*n*-структуры с начальной толщиной наружной области около 30 мкм. *P*—*n*-переход находился в кристаллографической плоскости [110] и выявлялась травлением сколотой поверхности [110] в травителе состава: 1 ч. HF (конц.)+3 ч. HNO₃ (конц.)+2 ч. H₂O [5]. Толщина эпитаксиального слоя определялась под микроскопом МИМ-7. При концентрации электронов до $8 \cdot 10^{23} \text{ м}^{-3}$ спектры ЭЛ содержали две полосы в области края поглощения (рис. 2).

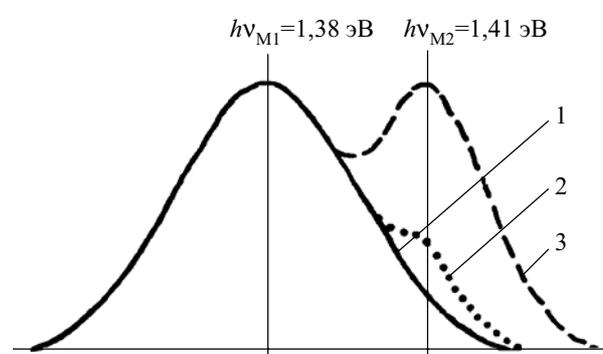


Рис. 2. Спектры ЭЛ фотоэлемента при различной толщине наружной области:
1 — 30 мкм; 2 — 6 мкм; 3 — 2 мкм

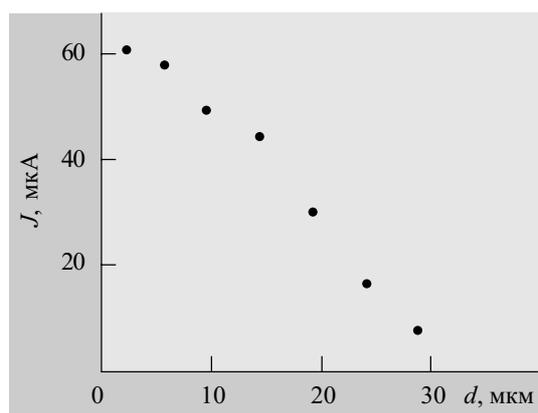


Рис. 3. Зависимость фототока короткого замыкания от толщины освещаемой области для одной $p-n$ -структуры при послойном стравливании

Для выяснения влияния толщины наружной области на эффективность данной $p-n$ -структуры в качестве фотоэлемента измерялся также фототок короткого замыкания при постоянном освещении лампы накаливания, питаемой от стабилизированного источника, при температуре 2800°C .

Наружная область $p-n$ -структуры периодически, после измерения спектров ЭЛ и фототока, травилась для снятия слоя некоторой толщины в травителе состава: 5% брома + 95% метанола. Скорость травления арсенида галлия — 2 мкм/мин при 20°C . Толщина удаленного и оставшегося слоя контролировалась с помощью миниметра и под микроскопом. После каждого травления измерялся спектр ЭЛ и фототок короткого замыкания.

После достижения толщины наружной области около 3 мкм спектры ЭЛ, как и фототоки короткого замыкания, при дальнейшем уменьшении толщины практически не изменялись, что свидетельствовало об оптимизации $p-n$ -структуры по толщине наружной области для использования как в качестве СИД, так и в качестве фотоэлемента.

Зафиксировав вид спектра ЭЛ для оптимальной толщины наружной области, в дальнейшем можно доводить толщину этой области у других $p-n$ -структур этой серии до необходимой только по измерениям спектров ЭЛ. Фактически рекомбинационное излучение используется при изготовлении фотоэлементов как внутренняя подсветка из $p-n$ -структуры при оптимизации оптических свойств наружной области.

Преимущество такого приема перед измерениями фототока короткого замыкания между периодическими травлениями в том, что неизбежные погрешности оптической фокусировки влияют на результат измерения фототока, а измерения спектров ЭЛ не зависят от точности фокусировки, т. к. вид спектра от нее

не зависит. Кратко этот прием описан в [6]. Его можно применять как самостоятельно, так и в комплексе с традиционными методами травления по времени и с контролем по току короткого замыкания. Результаты такого сравнения показаны на рис. 3.

При концентрации электронов в n -области более $8 \cdot 10^{23} \text{ м}^{-3}$ спектр ЭЛ состоит из одной полосы. Однако полуширина спектральной полосы ЭЛ и энергия ее максимума сильно зависят от толщины световыводящей p -области и несколько менее — от толщины световыводящей n -области [7]. Объясняется это тем, что при энергии фотонов, равной значению ее на высокоэнергетической стороне полуширины спектральной линии, коэффициент поглощения не менее $3 \cdot 10^4 \text{ м}^{-1}$ [8]. Эта зависимость позволяет и в случае сильно легированной n -области использовать измерения ЭЛ для доведения толщины наружной области $p-n$ -структуры до необходимой при использовании $p-n$ -структуры в качестве фотоэлемента.

Описанный здесь прием доводки $p-n$ -структур для использования их в качестве светоизлучающих диодов или фотоприемников, основанный на периодических измерениях спектров электролюминесценции после каждого травления, позволяет избежать влияния погрешностей оптической фокусировки при традиционных измерениях фототока короткого замыкания.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Дроздов В. А., Коробицын Б. В., Слюсаренко В. Н., Царенков Б. В. Температурная зависимость спектров краевой фотолюминесценции слабо легированного электронного и дырочного арсенида галлия. — Деп. в ВИНТИ. — 1975. — № 266-75 Деп.
2. Дроздов В. А., Коробицын Б. В., Слюсаренко В. Н. Излучательная рекомбинация в p - и n -областях арсенид-галлиевых p - и n -структур при прямом токе. — Деп. в ВИНТИ. — 1975. — № 883-75 Деп.
3. Викулин И. М., Кальнев Н. А., Коробицын Б. В. Об управлении спектром светоизлучающих диодов // Электронная техника. — Сер. Полупроводниковые приборы. — 1988. — Вып. 4. — С. 70—72.
4. Викулин И. М., Горбачев В. Э., Коробицын Б. В. Электролюминесценция в асимметричных $p-n$ -структурах // Наукові праці УДАЗ. — 2000. — № 1. — С. 8—11.
5. Гореленюк А. Т., Коробицын Б. В., Царенков Б. В., Чабришвили Н. Г. Фотолюминесцентный метод измерения распределения концентрации равновесных носителей тока в GaAs // Физика и техника полупроводников. — 1968. — Т. 2, № 10. — С. 1518—1524.
6. Коробицын Б. В., Викулин И. М., Ирха В. И., Горбачев В. Э. Об особенностях $p-n$ -структур для оптоэлектроники // Тр. VII междунар. науч.-практ. конф. «Системы и средства передачи и обработки информации». — Одесса. — 2003. — С. 154.
7. Casey H. C., Jr. Trumbore F. A. Single crystal electroluminescent materials // Mater. Science and Eng. — 1970. — N 6. — P. 69—74.
8. Hill D. E. Infrared transmissions and fluorescence of doped gallium arsenide // Phys. Rev. — 1964. — Vol. 133, N 3A. — P. 866—872.