

ДОМЕНЫ ГАННА В КАНАЛЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРЯДА И ВОЗБУЖДАЕМОЕ ИМИ ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

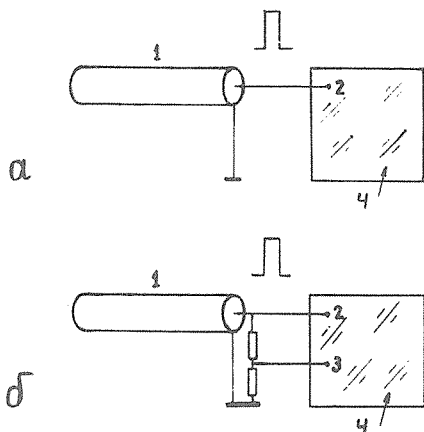
В.Д. Дубров, И. Исмаилов, А.З. Обидин, А.Н. Печенов, Ю.М. Попов, В.А. Фролов

УДК 621.373:826.038

Обнаружены ганновские домены в канале разряда в полупроводниках, вызывающие интенсивное лазерное излучение. Электрические поля $\sim 10^6$ В/см приводят к нарушению кристаллографической направленности разрядов.

Лазерное излучение из однородных полупроводников под воздействием сильного электрического поля может быть получено при ионизации полупроводника доменами Ганна [1], а также при возбуждении в полупроводнике направленного разряда [2]. Ударная ионизация полем ганновских доменов, приводящая к созданию инверсной заселенности, была реализована в образцах со сравнительно высокой концентрацией носителей заряда ($> 10^{16}$ см⁻³), т.е. малым удельным сопротивлением. При этом мощность излучения составляла несколько ватт [1,3].

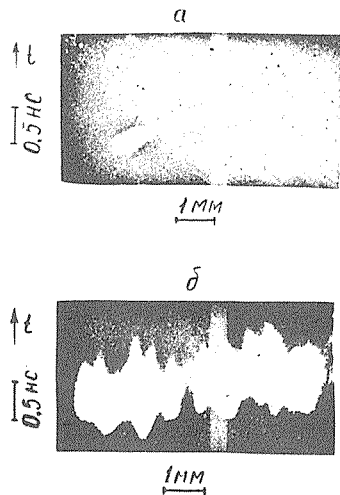
Возбуждение полупроводника направленным разрядом осуществляется в достаточно высокоомных материалах ($> 10^3$ Ом·см). Подача импульса высокого напряжения на такой образец приводит к возникновению в нем области сильного поля ($\sim 10^6$ В/см) с характерным размером ~ 1 мкм, которая перемещается в объеме кристалла по определенным для каждого конкретного материала кристаллографическим направлениям со скоростью 10^8 — 10^9 см/с. При этом в головке разрядного канала происходит интенсивная генерация электронно-дырочных пар, а канал разряда (диаметром в несколько микрон и длиной до нескольких сантиметров) имеет существенно отличную от остальной части кристалла проводимость. Высокая концентрация носителей за головкой разряда ведет к вытеснению поля из этой области, что приводит к термализации созданных неравновесных носителей и возникновению инверсной заселенности. Использование резонатора Фабри-Перо дает возможность получать в пластинах InP лазерное излучение мощностью до 200 Вт [4], а для GaAs — до 350 Вт. Схема возбуждения направленного разряда в образцах изображена на рис. 1а. При проведении исследований нами использовался источник высокого напряжения, обеспечивающий импульсы амплитудой до 55 кВ и длительностью ~ 10 нс при фронте $\sim 1,5$ нс. Временные измерения проводились с помощью фотохронографа ФЭР-2.



Р и с. 1. а – схема возбуждения образца направленным разрядом. б – схема возбуждения образца при использовании двух контактов. 1 – высоковольтный кабель; 2,3 – контакты; 4 – образец

В данной работе показано, что изменением электрической схемы возбуждения образца можно осуществить переход от направленного разряда к режиму формирования ганновских доменов в канале разряда. Переход от схемы 1а к схеме 1б приводит к качественным изменениям пространственных и временных характеристик наблюдаемого излучения. Если приложить импульс высокого напряжения достаточной амплитуды через делитель к двум точкам кристалла, как это изображено на рис. 1б, то разряд начинает развиваться по кратчайшему расстоянию между контактами, т.е. подавляется анизотропия направленного разряда. Такое явление имеет место при среднем поле между контактами, превышающем $2 \cdot 10^4$ В/см для InP, 10^4 В/см для GaAs и $5 \cdot 10^4$ В/см для ZnSe. При меньших полях наблюдаются обычные направленные разряды.

Изучение структуры излучения во времени позволило обнаружить следующее: если при направленном разряде излучающая область следует за областью высокого поля в головке разряда (рис. 2а), то при наличии двух контактов в канале наблюдается большое количество одновременно излучающих областей, которые перемещаются вдоль разрядного канала со скоростью $\sim 10^7$ см/с (рис. 2б). Данное различие можно объяснить возникновением в образцах GaAs, InP и ZnSe при указанных условиях ганновских доменов сильного поля (ДСП). После образования ДСП дальнейший рост приложенного к образцу напряжения приводит к росту поля в домене, при



Р и с. 2. а – хронограмма излучения направленного разряда. б – хронограмма излучения образца с двумя контактами

этом в области домена можно создать поля, достаточные для интенсивной ударной ионизации и, при соответствующих условиях, получить вынужденное излучение. Как уже отмечалось, разрядный канал представляет собой тонкую нить со сравнительно высокой проводимостью, находящуюся в окружении полуизолирующего материала. В нашем случае величина поля, приложенного к каналу, заведомо превышает пороговое значение для эффекта Ганна. При этом отдельные участки разрядного канала можно рассматривать в качестве диодов Ганна, а весь канал – как цепочку большого количества последовательно включенных диодов Ганна (оценки показывают, что на одном ионизирующем домене падает напряжение $\lesssim 1$ кВ, тогда как общее падение напряжения на всей нити может превышать 50 кВ). Таким образом становится возможным существование одновременно нескольких десятков ионизирующих ДСП. Подобный режим должен давать хронограмму излучения именно такого вида, как наблюдалась нами. При этом и для GaAs, и для JnP скорость перемещения излучающих областей имела величину $(1 - 1,5) \cdot 10^7$ см/с, характерную для доменов Ганна. Проведенные нами контрольные измерения на образцах CdS (материал, в котором эффект Ганна не наблюдается) показали отсутствие в них подобного явления. При наличии двух контактов электрические разряды от них развивались независимо, по обычным для CdS направлениям. Даже при установке обоих контактов

вдоль разрядного канала картины, подобной наблюдаемой в InP и GaAs, обнаружено не было. Все это дает нам основание считать, что для GaAs, InP и ZnSe в канале электрического разряда формируются домены Ганна. На образцах, работающих в таком доменном режиме, было получено лазерное излучение как при азотной, так и при комнатной температурах. Длина волны генерации составляла для GaAs 847 нм при 77 К и 902 нм при 300 К, а для InP — 898 нм при 77 К и 946 нм при 300 К. При этом суммарная мощность, излучаемая из разрядного канала, достигала величины > 100 Вт при 300 К и > 600 Вт при 77 К.

Таким образом многодоменный режим, реализующийся в канале разряда, позволяет повысить более чем на два порядка мощность излучения по сравнению с ранее известными лазерами, основанными на эффекте Ганна. При этом длительность световых импульсов можно варьировать от 20 пс (время высвечивания одной точки /4/), до десятков наносекунд. Сравнивая исследуемые вещества по величине электрического поля, нарушающего направления развития разряда, можно судить о степени анизотропии их свойств, определяющих направленность разряда.

Поступила в редакцию 15 декабря 1983 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. P.D. Southgate, JEEE J. Quantum Electronics, QE-4, 179 (1968).
2. Н.Г. Басов и др., Письма в ЖЭТФ, 19, 650 (1974).
3. В.Д. Дубров, И. Исмаилов, Квантовая электроника, 3, 632 (1976).
4. В.Д. Дубров и др., Квантовая электроника, 11, № 3, 611 (1984).