

НЕУСТОЙЧИВОСТЬ ДОМЕНА СИЛЬНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ В ПОЛУПРОВОДНИКЕ

В.А. Стадник

Впервые зарегистрирован эффект пульсаций прошедшего через полупроводниковый образец лазерного излучения, обусловленный неустойчивостью домена сильного поглощения.

Хорошо известно, что в полупроводниках под действием, например, электрического поля происходит образование как локализованных на неоднородностях, так и движущихся в однородном образце доменов различной природы¹. Однако до сих пор в литературе не было сообщений о наблюдении аналогичного явления в полупроводниках под действием лазерного излучения. Вместе с тем в газах подобное явление, получившее название "оптический разряд"², было обнаружено вскоре после создания мощных лазеров и в настоящее время детально исследовано. Поэтому целью данной работы было экспериментальное изучение образования движущихся доменов в полупроводнике под действием лазерного излучения.

Для получения резкого нелинейного роста коэффициента поглощения использовался тепловой механизм. Возбуждение полупроводника лазерным излучением с энергией кванта меньше ширины запрещенной зоны $h\nu < E_g$ приводит к затягиванию края собственного поглощения в длинноволновую сторону и переключению части образца во второе состояние, в котором $h\nu > E_g$, а коэффициент поглощения возрастает на два-три порядка, т.е. к образованию домена сильного поглощения. Если размеры образца будут по крайней мере на порядок больше толщины домена, то в таком образце возможно наблюдать не только локализованные, но и движущиеся домены.

В экспериментах использовались образцы монокристаллического ZnSe ($E_g = 2,68$ эВ при 290 К) размерами $2 \times 4 \times 8$ мм³. Возбуждение образцов осуществлялось излучением непрерывного аргонового лазера ЛА-120 ($h\nu = 2,54$ эВ), значение интенсивности света в образце составляло $10 - 100$ кВт/см². Регистрация локализованных и движущихся доменов сильного поглощения осуществлялась с помощью микроскопа МБС-9 по люминесценции, поскольку в области домена реализуется межзонное возбуждение ZnSe. Одновременно регистрировалась временная зависимость прошедшего через образец излучения.

Анализ экспериментальных результатов показал, что локализация домена происходит либо на передней, либо на задней грани образца. В дальнейшем мы будем рассматривать только поведение домена, локализованного на задней грани образца, при увеличении интенсивности падающего излучения, так как неустойчивость домена, локализованного на передней грани, в эксперименте не наблюдалась.

При интенсивности падающего излучения, незначительно превышающей пороговую интенсивность, необходимую для поддержания домена, локализованного на задней грани (рис. 1, а), на выходе из образца наблюдается постоянный, не меняющийся во времени сигнал.

Увеличение интенсивности падающего излучения приводит к постепенному росту толщины локализованного домена или затягиванию домена вглубь образца. При некоторой критической интенсивности в прошедшем через образец излучении возникают слабые практически

синусоидальные по форме пульсации, амплитуда которых плавно возрастает от нуля с ростом интенсивности падающего излучения. Смещение переднего фронта домена в режиме слабых пульсаций имеет плавный монотонный характер и не превышает максимальную толщину локализованного домена. Увеличение амплитуды пульсаций сопровождается отклонением формы выходного сигнала от синусоидального (рис. 2,а). Однако установлено, что период пульсаций T не зависит от формы сигнала и интенсивности падающего излучения и связан с диаметром домена d в пределах ошибки эксперимента ($\sim 20\%$) следующим соотношением: $Td^{-2} = \text{const}$. В эксперименте за счет фокусировки излучения вблизи задней грани образца значение T менялось от 10 до 280 мкс.

При дальнейшем увеличении интенсивности падающего излучения длина пробега домена увеличивается и происходит плавная смена режима пульсаций. Длина пробега домена в этом режиме (рис. 1,б) по крайней мере на порядок больше толщины локализованного домена (рис. 1,а), однако передней грани домен не достигает и рекомбинирует в объеме образца.

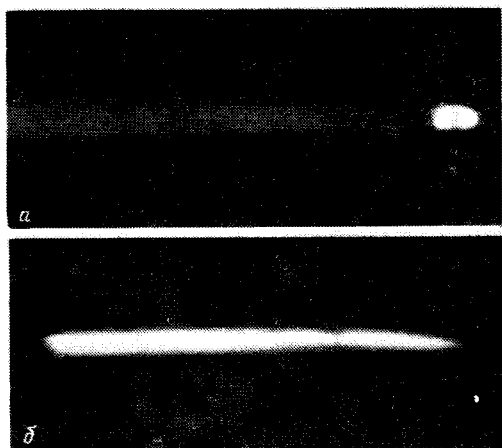


Рис. 1. а – Домен сильного поглощения, локализованный на задней грани образца (диаметр домена ≈ 35 мкм, толщина ≈ 30 мкм), б – движение домена в режиме сильных пульсаций (длина пробега домена ≈ 32 мкм)

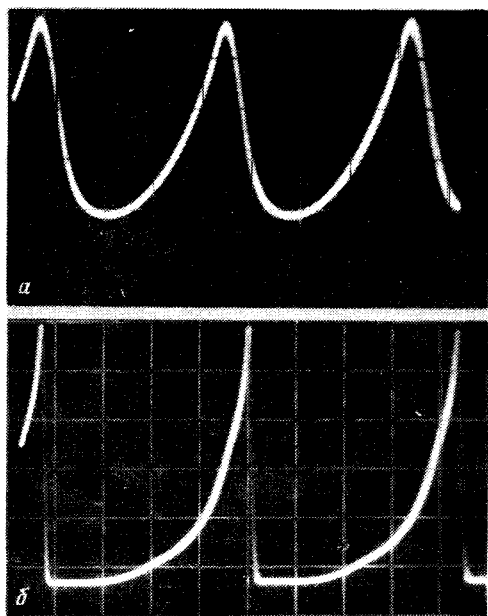


Рис. 2. а – Режим слабых пульсаций прошедшего через образец излучения ($T = 76$ мкс), б – режим сильных пульсаций ($T = 86$ мкс)

Форма пульсаций резко отличается от синусоидальной (рис. 2, б) и зависит от интенсивности падающего света и геометрии светового канала. Период пульсаций зависит от длины пробега домена и в эксперименте менялся от 80 до 600 мкс. Оценка среднего значения скорости движения домена дает $v \approx (1 - 3) \cdot 10^2$ см/с. Характерное для режима сильных пульсаций резкое переключение вниз происходит за время 1 – 5 мкс. Значение максимальной амплитуды выходного сигнала по крайней мере в пять раз больше минимальной, что указывает на полную рекомбинацию домена в объеме образца, так как пропускание локализованного домена составляет $\approx 20\%$.

Поскольку вид нелинейности коэффициента поглощения в данном случае совпадает с тем, который наблюдается при изучении оптического разряда, феноменологическое описание движения домена сильного поглощения в однородном полупроводнике можно получить, если воспользоваться хорошо развитой теорией теплопроводностного режима распростране-

ния оптического разряда. В работе ² приведено решение для зависимости скорости и толщины домена от интенсивности падающего излучения. Оценка значения скорости при условии, что интенсивность света заметно превышает пороговую, необходимую для поддержания стационарного движения домена, дает $v \cong 10^2 - 10^3$ см/с, что находится в хорошем согласии с экспериментально определенным значением.

Зависимость скорости домена от интенсивности света имеет неоднозначный вид ², причем нижняя ветвь неустойчива. Поэтому в пространственно однородном случае движение домена возможно с ненулевой скоростью и при интенсивности света больше некоторой критической. Этот факт позволяет дать следующее объяснение режима сильных пульсаций (рис. 1, б; 2, б). Образование домена происходит на задней грани образца. При достаточном большом значении интенсивности света домен отрывается от неоднородности и движется навстречу падающему излучению по световому каналу, геометрия которого определяется каустической поверхностью линзы. В эксперименте домен проходит область максимальной остроты фокусировки, и интенсивность падающего на домен света начинает уменьшаться. В некоторой точке она становится меньше критической интенсивности, при которой возможно движение домена, и домен исчезает. После этого на задней грани образуется новый домен, и процесс повторяется.

Режим слабых пульсаций прошедшего через образец излучения связан, по-видимому, с отрывом локализованного домена от задней грани образца, когда значение интенсивности падающего излучения меньше критического необходимого для поддержания стационарного движения домена в пространственно однородном случае. Исходя из экспериментальных данных, можно также предположить, что этот режим пульсаций обусловлен относительно небольшим периодическим изменением толщины домена.

В заключение автор выражает благодарность А.Ф.Дите, Л.В.Келдышу и В.Б.Тимофееву за полезное обсуждение результатов работы.

Литература

1. Бонч-Бруевич В.Л., Звягин И.П., Миронов А.Т. Доменная электрическая неустойчивость в полупроводниках, М.: Наука, 1972.
2. Райзер Ю.П. УФН, 1980, 132, 549.