

И. АРРО, Г. АШКИНАЗИ, К. РУММА

НОВАЯ МЕТОДИКА И АППАРАТУРА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ НАЧАЛЬНОГО ЭТАПА ПРОЦЕССА ВКЛЮЧЕНИЯ $p-n-p-n$ СТРУКТУР

Предварительные замечания

При работе тиристорov в импульсных и частотных режимах к ним предъявляется ряд повышенных требований (малое время переключения, высокие допустимые значения нарастания анодного тока, малые мощности потерь в переходный период включения и др.). Однако при разработке силовых тиристорov увеличение коммутируемой мощности достигается посредством увеличения площади и выбора толщины n -базы, обеспечивающей достаточно высоковольтные характеристики $p-n-p-n$ структур, что приводит к ухудшению указанных выше параметров. Так как приборы выходят из строя в основном от пиковой мощности [1] в переходный период коммутирования, важно рассмотреть процесс включения на его начальном этапе. Этот процесс не является одномерным [2], и его как теоретическое, так и экспериментальное изучение представляет значительные трудности. Этим объясняется, в частности, тот факт, что в настоящее время отсутствуют подробные экспериментальные данные о характере именно начального этапа процесса включения $p-n-p-n$ структуры, хотя исследованием этого процесса занимались многие авторы [1-11].

Методика и аппаратура исследования

В ходе данной работы разработана комплексная методика для исследования начального этапа процесса включения. Методика основывается на регистрации рекомбинационного излучения [11] при помощи электронно-оптического преобразователя (ЭОП) и германиевого фото диода (ФД), а также на анализе электрофизических характеристик тиристорov. Схема комплексной установки приведена на рис. 1. Исследуемый образец реального тиристора (1), napаянный на основание серийного прибора (2), навинчивается на радиатор (3), температура которого регулируется ультратермостатом (4) в пределах 15—90°С. Радиатор с образцом прикреплен к столику гониометра. Гониометр, в свою очередь, присоединен к предметному столику инструментального микроскопа типа ИТ так, чтобы оси образца и столика гониометра совпадали с оптической осью. При этом обеспечивается поворот образца вокруг оптической оси с точностью отсчета 1' и перемещение вдоль и поперек оптической оси (на рис. 1 оси x и y соответственно) с точностью отсчета 0,01 мм.

Инфракрасное излучение, выходящее из образца, регистрируется либо ФД (8), который снабжен регулируемой в пределах 0—4 мм щелью (7) с точностью отсчета 0,01 мм, либо ЭОП. В первом случае объектив «Юпитер-3» (5) с алюминиевым зеркалом (6) находится в верхнем фиксированном положении А, а во втором — в нижнем положении В.

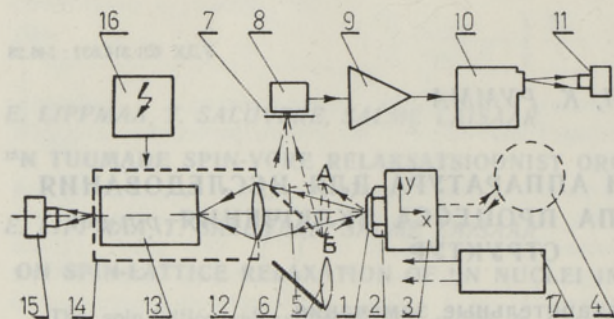


Рис. 1. Схема комплексной установки.

1 — образец тиристора; 2 — основание тиристора; 3 — радиатор; 4 — ультратермостат; 5 — объектив «Юпитер-3»; 6 — алюминиевое зеркало; 7 — щель к фотодиоду; 8 — фотодиод; 9 — широкополосный усилитель; 10 — осциллограф СИ-54; 11 — фотоаппарат; 12 — объектив «Гелиос-40»; 13 — электронно-оптический преобразователь (ЭОП); 14 — герметичная камера; 15 — фотоаппарат; 16 — высоковольтный источник питания для ЭОП; 17 — блок питания и регистрации электрофизических характеристик.

Вторым приемником является однокаскадный ЭОП типа П8 с охлажденным (ниже — 50°) кислородно-цезиевым катодом. Для обеспечения хорошей тепло- и влагоизоляции ЭОП с объективом «Гелиос-40» (12) помещен в толстостенную герметичную камеру (14) из органического стекла. Изображение на экране ЭОП наблюдается визуально или снимается на пленку А-600 фотоаппаратом (15) с одним или двумя последовательно соединенными объективами «Юпитер-3» (15).

Схема электрического питания и регистрации электрофизических характеристик представлена на рис. 2.

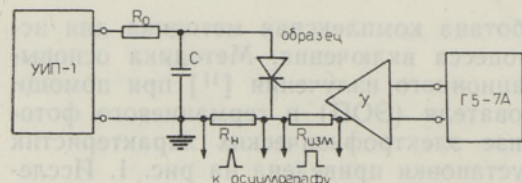


Рис. 2. Схема электрического питания и регистрации электрофизических характеристик.

Синусоидальный полувольтной анодный импульс формируется в цепи разряда конденсатора C . Параметры импульса анодного тока определяются величинами элементов цепи разряда, т. е. выбором величин нагрузочного безындуктивного сопротивления R_n , емкости C и напряжения питания постоянного тока, а также параметрами исследуемого образца. Цепь разряда смонтирована прямо на радиаторе с минимальной длиной соединительных проводов во избежание влияния паразитных индуктивностей.

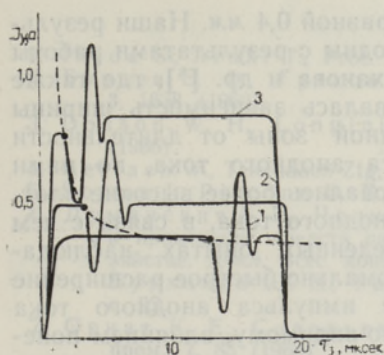


Рис. 3. Зависимость времени задержки от тока управления, полученная экстраполяцией типичных осциллограмм импульса тока управления: 1 — $I_y = 0,4$ а; 2 — $I_y = 0,5$ а; 3 — $I_y = 0,8$; общая длительность импульсов $t_y = 19$ мксек.

Прямоугольные импульсы управления регулируемой длительности и амплитуды формируются при помощи генератора Г5-7А и импульсного усилителя тока У (см. рис. 2).

Интересно отметить, что при включении в цепь управления измерительного сопротивления $R_{изм}$ в пределах 10—40 ом на осциллограмме импульса тока управления появляется всплеск анодного импульса (рис. 3), что очень удобно при работе с одноканальным осциллографом, поскольку позволяет непосредственно проследить зависимость времени задержки от амплитуды тока управления (рис. 3, пунктир).

Обсуждение результатов

Так как в ЭОП фиксируется вся площадь, включающаяся за время прохождения импульса тока, то для определения с помощью ЭОП области начального включения необходимо использовать анодные импульсы с крутыми задними фронтами длительностью порядка времени нарастания анодного тока.

С учетом сказанного выше нами проводились предварительные опыты на образцах, вырезанных в виде полоски из тиристорных структур шириной 1,4 мм, с использованием анодных импульсов различной длительности для определения такой максимальной длительности, при которой ширина включенной области не превышает ширины неметаллизированного участка между управляющим электродом и катодом (0,6—0,8 мм). Измерения показали, что для образца, вырезанного в виде полоски, при длительностях не превышающих 2—3 мксек, ширина включенной области не больше 0,4—0,6 мм.

Зависимости ширины включенной зоны от длительности импульса анодного тока при различных амплитудах тока представлены на рис. 4.

На основе полученных результатов определялись мгновенные скорости расширения включенной области (см. таблицу).

Экстраполируя представленный на рис. 4 график до пересечения с осью l , определялась эффективная ширина включенной области при нулевой длительности анодного импульса; она оказалась приблизи-

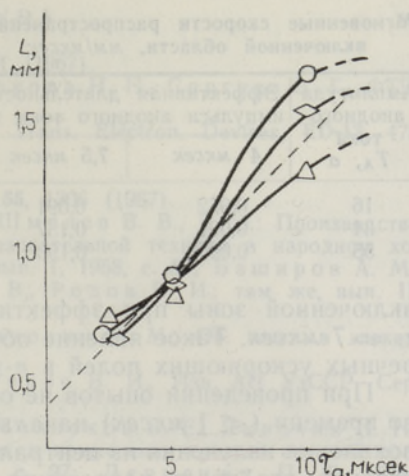


Рис. 4. Зависимость ширины включенной зоны от длительности импульса анодного тока при разных амплитудах:
○ — при $I_a = 55$ а; ◇ — $I_a = 34$ а;
△ — $I_a = 16$ а.

Мгновенные скорости распространения включенной области, мм/мксек

| Амплитуда анодного тока T_A, a | Эффективная длительность импульса анодного тока τ_a | |
|---|---|-----------|
| | 4 мксек | 7,5 мксек |
| 16 | 0,052 | 0,091 |
| 34 | 0,091 | 0,157 |
| 55 | 0,095 | 0,190 |

тально равной 0,4 мм. Наши результаты сходны с результатами работы Ш. Бурханова и др. [8], где также исследовалась зависимость ширины включенной зоны от длительности импульса анодного тока, но нами использовались более высокие плотности анодного тока, в связи с чем в проведенных опытах наблюдалось аномально быстрое расширение

включенной зоны при эффективной длине импульса анодного тока $\tau_a = 7$ мксек. Такое явление объясняется, по-видимому, влиянием поперечных ускоряющих полей в n -эмиттере. При проведении опытов не обнаруживалось заметного запаздывания во времени (< 1 мксек) начала излучения из краевых зон относительно появления излучения из центральной части включенной области. Отсюда следует, что после нарастания анодного тока в течение относительно быстрого спада тока в импульсе не происходит заметного расширения включенной зоны и импульсы полуволновой синусоидальной формы длительностью до 2 мксек можно использовать для определения площади включенной области на начальном этапе включения в реальных тиристорах (при этом регистрируется инфракрасное излучение, выходящее из неметаллизированной части n -эмиттера перпендикулярно его поверхности).

Преимуществом разработанной методики является то, что в комплексе устраняются некоторые недостатки отдельных узлов установки. С одной стороны, измерения с помощью ЭОП в качестве приемника излучения дают интегральную картину, откуда легко определить площадь и место расположения включенной зоны. В то же время изучение распределения плотности тока во включенной зоне с помощью ЭОП затруднено, а также невозможно изучение временных зависимостей. Последние хорошо исследовать, применяя ФД. С другой стороны, определение площади включенной зоны при помощи ФД — очень трудоемкая работа, если не определять предварительно ее месторасположения при помощи ЭОП. Несмотря на то, что аппаратура позволяет провести зондирование, используя ФД (в полярных координатах) с точностью отсчета угла $1'$ и радиуса 0,01 мм, измерения, выполненные с помощью только ФД, не отличаются высокой точностью, так как чувствительность ФД позволяет работать с эффективной шириной щели на образце не менее 0,1—0,3 мм.

Выводы

1. Разработана комплексная методика для изучения процесса включения на его начальном этапе в образцах силовых тиристоров.

2. Экстраполяцией зависимости $l = f(\tau_a)$ определено, что в образце, вырезанном в виде полоски, эффективная ширина включенной зоны при нулевой длительности анодного импульса равна приблизительно 0,4 мм. При больших амплитудах анодного тока наблюдалось влияние ускоряющих полей в n -эмиттере.

3. Импульсы тока синусоидальной полуволновой формы длительностью 2 мксек можно использовать для определения площади включенной зоны на начальном этапе включения в реальных тиристорах.

Авторы выражают благодарность Т. Юхас за предоставление образцов и В. Кузьмину за обсуждение работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ikeda S., Araki T., Proc. IEEE, **55**, 1301 (1967).
2. Бурцев Э. Ф., Грехов И. В., Крюкова Н. Н., Сергеев В. Г., ФТП, **3**, 1638 (1969).
3. Dodson W. H., Longini R. L., IEEE Trans. Electron. Devices, **ED-13**, 478 (1966).
4. Gerlach W., Telefunken-Ztg, **39**, 301 (1966).
5. Somos I., Piccone D. E., Proc. IEEE, **55**, 1306 (1967).
6. Думаневич А. Н., Челноков В. Е., Шмелев В. В., В сб.: Производство и применение средств силовой преобразовательной техники в народном хозяйстве, Докл. Всес. конф., секция I, вып. 1, 1968, с. 57; Баширов А. М., Бурханов Ш. Д., Гаршенин В. В., Родов В. И., там же, вып. II, с. 92.
7. Орнат К. Е., Соловьев Н. Н., Аранович Р. М., Об. опыт. в электр. пром., **7**, 85 (1969).
8. Бурханов Ш. Д., Горохов В. А., Родов В. И., Изв. АН УзССР, Сер. физ.-матем. н., **2**, 78 (1969).
9. Ашкинази Г. А., Кочегаров С. Ф., Челноков В. Е., Якивчик Н. Н., В сб.: Некоторые вопросы производства и применения средств силовой преобразовательной техники, ч. II, 1970, с. 27; Дерменжи П. Г., Евсеев Ю. А., Челноков В. Е., там же, с. 22; Молибог И. П., Шмелев Е. В., там же, с. 33; Челноков В. Е., Шмелев Е. В., Якивчик Н. Н., там же, с. 105.
10. Челноков В. Е., Шуман В. Е., Якивчик Н. Н., III Всес. совещ. по физич. процессам в *p-n* переходах в полупроводниках (тезисы докл.), Тбилиси, 1966.
11. Щеглов П. В., Электронная техника, М., 1963, с. 64.

Институт термофизики и электрофизики
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию
26/III 1971

I. ARRO, G. AZKINAZI, K. RUMMA

UUS METOODIKA JA APARATUUR *p-n-p-n*-STRUKTUURIDE
SISSELÜLITUMISPROTSESSI ALGSTAADIUMI UURIMISEKS

Kirjeldatakse *p-n-p-n*-struktuuride sisselülitumisprotsessi algstaadiumi uurimiseks loodud uut mõõteaparatuuri ja meetoodikat, mis põhineb rekombinatsiooni infrapunase kiirguse registreerimisel. Kahekanalilise mõõtesüsteemi esimeses kanalis kasutatakse andurina germaniumifotodiodi, teises — jahutatud teesium-hapnikkatoodiga elektronoptilist muundit.

Ribakujulise *p-n-p-n*-struktuuri mõõtmised näitasid, et nullise vooluimpulsi juures on efektiivne sisselülitunud piirkonna laius $\sim 0,4$ mm. Suure amplituudiga vooluimpulsside kasutamisel jälgiti kiirendavate ristväljade mõju *n*-emitteris.

Näidatakse, et siinuselisi poollainekujulisi kuni 2 μ sek pikkusi vooluimpulsside on võimalik kasutada reaalsete türistoride sisselülitumisprotsessi algstaadiumi uurimiseks.

I. ARRO, G. ASHKINAZI, K. RUMMA

NEW TECHNIQUE AND APPARATUS FOR THE STUDY OF THE TURN-ON
PROCESS OF *p-n-p-n* STRUCTURES AT INITIAL STAGE

The technique and measuring apparatus of the initial stage of the turn-on process of *p-n-p-n* structures have been described, using the method of registering the recombination infrared radiation. A germanium photodiode is used as a sender in the first channel of the two-channel measuring system, and an image converter with cooled caesiumoxygen-coated cathode in the second one.

The measurements made on the banded *p-n-p-n* structure haven shown that the effective width of the turn-on region at zero current pulse length is ~ 0.4 min. The influence of crossed fields in the *n*-emitter was observed while using high-amplitude current pulses.

It is also shown that one can use sinusoidal half-period current pulses of lengths up to 2 μ sec. for the study of the initial stage of the turn-on process of real thyristors.